

Automação de uma Banca de Ensaios de Mangueiras Hidráulicas a Elevada Pressão

Renato Oliveira e Ferreira

Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. Doutor Francisco Jorge Teixeira de Freitas



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Ramo de Automação

Fevereiro 2015

Aos meus pais

Resumo

A requalificação de uma máquina de ensaios consiste num conjunto de intervenções com o objetivo de melhorar e atualizar as suas características de funcionamento nominal, de modo a permitir a sua certificação, de acordo as respetivas normas.

O presente trabalho consiste na requalificação de uma banca de ensaios de mangueiras hidráulicas. Estes ensaios devem seguir normas específicas, frequentemente revistas e atualizadas a par da evolução tecnológica. A certificação de um produto é um processo exigente, com necessidade de equipamentos precisos para garantir a sua qualidade.

A banca a requalificar foi concebida no início dos anos 90 e nesta época era uma máquina moderna e de elevado investimento. O passar dos anos e o desenvolvimento tecnológico, tornaram-na desatualizada, surgiram os primeiros sinais de fadiga e ficou inativa.

Do ponto de vista hidráulico e pneumático o seu *hardware* mantém-se atualizado. No entanto, as evoluções nos meios de comando e monitorização justificam um novo sistema de controlo, tema principal deste trabalho.

A requalificação desta banca em comparação com a aquisição de uma banca nova, é uma melhor solução quer do ponto de vista económico, com um custo muito inferior, quer do ponto de vista ambiental, por se evitar a decomposição da máquina e o uso de recursos para fabrico de uma nova.

Para apresentar uma proposta de requalificação, foi necessário rever as normas atuais, verificar os novos requisitos, avaliar as necessidades da empresa e compreender o potencial da máquina. Após a apresentação e aprovação de um orçamento, foram realizadas as atualizações de *hardware* entendidas como necessárias. De seguida, implementou-se um novo sistema de controlo automático da banca, para realização autónoma dos ensaios.

Pode concluir-se que a requalificação foi realizada com sucesso. No fim deste projeto, a Balflex fica com uma banca de ensaios atualizada, que cumpre os requisitos pretendidos e com funcionalidades além das exigidas por normalização.

Technological Upgrade of Hydraulic Hoses Test Bench

Abstract

A testing machine requalification consists of a set of interventions to improve and upgrade its nominal operating characteristics to achieve certification according to the respective rules.

This work consists of the rehabilitation of a hydraulic hose testbench. These tests should follow specific technical rules and standards, frequently reviewed and updated in line with technological development. The certification of a product is a demanding process, requiring precise equipments to ensure its quality.

The bench was manufactured in the early 90s and at that time was quite a modern machine requiring a high investment. Over the years, the first signs of fatigue appeared and with technology developments the machine became outdated and inactive.

Main hydraulic and pneumatic components are however not quite outdated. Developments in new types of control techniques and monitoring means have justified a new control system, which was the main theme of this work.

The upgrade of this bench, in comparison with the acquisition of a new one, seemed a better solution from an economic point of view, with a much lower cost and environmental reasoning, because of the prevent decomposition of the machine in opposition to the resources used for the manufacturing of a new one.

To submit an upgrade proposal it was necessary to review the current standards, check out the new requirements, assess the needs of the company and understand the potential of the machine. After submission and approval of a budget, the hardware upgrades were performed. Then a new automatic control system was implemented to perform autonomous tests.

Based on the tests carried out, it is possible to state that the testbench upgrade was successful. At the end of this project, Balflex has a hightech bench, which meets the desired requirements and functionality beyond what is required by standardization.

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração e amizade de todos aqueles que de perto o acompanharam. Por essa razão, desejo expressar os meus agradecimentos:

Ao meu orientador, Professor Doutor Francisco Freitas, pela competência científica e acompanhamento do trabalho, total apoio e disponibilidade, pelas opiniões, críticas e colaboração no solucionar dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho.

Ao Sr. Joaquim Silva, técnico de laboratório, pela sua disponibilidade, pelo companheirismo e pelos momentos de boa disposição que proporcionou durante a minha permanência no Laboratório de Óleo-hidráulica.

Ao Dr. Carlos Alves, diretor da Balflex Portugal, por financiar este projeto e pela forma como disponibilizou todos os recursos para que este trabalho corresse da melhor forma. Espero que o entusiasmo, seriedade e empenho que dediquei ao trabalho corresponda às suas expectativas e lhe seja um estímulo para a Balflex continuar a fazer sempre “mais e melhor”.

Ao Dr. Vitor Fernandes, diretor da VMflex, pela amizade e forma como me recebeu e apoiou neste trabalho. Os seus conhecimentos e experiência na área foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Ao Nuno Araújo e ao Davide Nabais por toda a ajuda na resolução dos problemas mais complicados.

À Eng^a Sónia Mota, ao Eng^o Nuno Monteiro, Eng^o Tiago Carvalho e ao Dr. Vitor Leite da Balflex por disponibilizarem todos os recursos da Balflex em prol deste trabalho e me permitiram encontrar informações e soluções que em muito contribuíram para a execução desta dissertação.

Ao Hugo, Iúri, Sr. Maia e Sr. Moreira pela amizade e toda ajuda na recuperação da banca e montagem dos componentes hidráulicos. À Carla e a Marília pela amizade e simpatia que tornaram todo este tempo na Balflex mais agradável e apoiaram nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos João Antunes, Daniel Queirós, Nuno Pinto e António Romão por toda a amizade, colaboração e incentivo ao longo da faculdade.

Aos meus pais a quem dedico esta dissertação, por todos os ensinamentos de vida e valores transmitidos, que me tornaram na pessoa que sou hoje e por me terem proporcionado todas as condições necessárias para a minha formação.

À minha irmã, por me incentivar e mesmo sem perceber nada de engenharia, contribuiu significativamente para a escrita e organização da dissertação.

Por último, exatamente pela sua importância, à minha namorada, Joana Cavadas. A sua compreensão e ternura, foram fundamentais nos momentos mais amargos.

A todos o meu muito obrigado.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da Balflex.....	1
1.2	Apresentação da VMFlex.....	1
1.3	O projeto na Balflex / VMflex.....	2
1.4	Motivação para o projeto.....	2
1.5	Organização e temas abordados no presente relatório	3
2	Sistemas de Ensaio de Mangueiras Hidráulicas	5
2.1	Mangueira Hidráulica	5
2.2	Normalização.....	6
2.3	Normalização referente ao ‘Ensaio de Impulso’	7
2.4	Normalização referente ao ‘Ensaio de Rebentamento’	9
2.5	Bancas de Ensaio de Referência	10
2.5.1	Uniflex.....	10
2.5.2	Resato	11
2.5.3	Blum.....	11
2.5.4	Bimal	12
3	Descrição da Banca em Estudo.....	15
3.1	Breve descrição	15
3.1.1	Câmara de Ensaio	16
3.1.2	Painel de Comando.....	16
3.1.3	Comando Manual de Válvulas	18
3.1.4	Sistema Elétrico	18
3.1.5	Central Hidráulica	20
3.2	Princípio de funcionamento do ensaio de impulso	21
3.3	Princípio de funcionamento do ensaio de rebentamento	23
3.4	Elementos de Controlo e Monitorização	25
3.4.1	Válvulas.....	26
3.4.2	Sensores e Transdutores	27
3.4.3	Elementos eletrónicos de controlo e monitorização	28
4	Proposta e discussão da solução e requisitos para a automação	31
4.1	Análise dos requisitos propostos e levantamento do estado de arte	31
4.2	Estudo prévio das condições de funcionamento da banca.....	31
4.3	Avaliação da compatibilidade dos componentes com a requalificação tecnológica	32
4.3.1	Ensaio de Rebentamento	32
4.3.2	Ensaio de Impulso.....	32
4.3.3	Aspetos Gerais de Controlo	33

4.4	Alterações propostas.....	34
4.5	Seleção do material a adquirir	35
4.5.1	Seleção do autómato e HMI	35
4.5.2	Seleção da válvula limitadora de pressão hidráulica proporcional.....	42
4.5.3	Seleção da válvula proporcional estranguladora de caudal hidráulica.....	43
4.5.4	Seleção de válvulas proporcionais pneumáticas.....	44
4.5.5	Outros elementos	45
5	Requalificação de <i>hardware</i>	47
5.1	Alterações no Circuito Pneumático.....	47
5.2	Alterações no circuito hidráulico	47
5.3	Alterações no circuito elétrico	50
6	Programação.....	53
6.1	Apresentação do <i>Software</i> Programação	53
6.2	Programação do Autómato	54
6.2.1	Considerações:.....	54
6.2.2	Programação do “Ensaio de Impulso”	55
6.2.3	Programação do “ensaio de rebentamento”	63
6.3	Programação da HMI.....	66
6.4	Comunicação	72
6.5	Programação do WebServer	74
7	Resultados	75
7.1	Validação do ensaio de impulso.....	75
7.1.1	Ensaio 1: Baixo volume	75
7.1.2	Ensaio 2: Volume médio	77
7.1.3	Ensaio 3: Volume elevado	80
7.2	Validação do ensaio de rebentamento	82
7.2.1	Ensaio 4: Baixo volume	82
7.2.2	Ensaio 5: Volume médio	85
7.2.3	Ensaio 6: Volume elevado	86
8	Conclusões.....	89
8.1	Análise ao Produto Final.....	89
8.2	Trabalhos futuros	91
9	Referências e Bibliografia	93
	ANEXO A Esquemas Hidráulicos e Pneumáticos.....	95
	ANEXO B Fichas Técnicas.....	111
	ANEXO C Esquemas Elétricos.....	129

Índice de Figuras

Figura 1.1 Balflex Portugal: Centro de Distribuição	1
Figura 1.2 Stand e Instalações da VMflex.....	1
Figura 1.3 - Laboratório de controlo de qualidade da Balflex.....	2
Figura 2.1 - Exemplos de aplicação de mangueiras hidráulicas	5
Figura 2.2 - Acessórios terminais para mangueiras hidráulicas	5
Figura 2.3 - montagem do provete a 180° e a 90°	7
Figura 2.4 - Curva de ensaio própria do ensaio de impulso	8
Figura 2.5 - Curva própria do ensaio de rebentamento.....	9
Figura 2.6 - Uniflex P300.....	10
Figura 2.7- Resato HPU-RTC.....	11
Figura 2.8- Blum Novotest.....	11
Figura 2.9 - Bimal BIR800.....	12
Figura 3.1 - Blmal 1000 S1	15
Figura 3.2 - Câmara de Ensaio	16
Figura 3.3 - Painel de Comando.....	17
Figura 3.4 - Comando Manual de Válvulas.....	18
Figura 3.5 - Quadro Elétrico.....	19
Figura 3.6 - Funcionamento do multiplicador hidráulico	21
Figura 3.7- Circuito hidráulico do ensaio de impulso	22
Figura 3.8- Multiplicador Pneumo-hidráulico	23
Figura 3.9 - Circuito hidráulico e pneumático do ensaio de rebentamento	24
Figura 3.10- Autómato existente.....	29
Figura 3.11- HMI e mostradores digitais	30
Figura 3.12- Computador para a geração dos relatórios	30
Figura 4.1- Schneider Electric Modicon M258	35
Figura 4.2 - Caraterística $Q(l/min) / s(\%)$ da válvula estranguladora proporcional	39
Figura 4.3 - Interface Homem Máquina HMIGTO 5310	40
Figura 4.4- Fonte de Alimentação 24VDC 10A	41
Figura 4.5 - Esquema de montagem de um módulo	41
Figura 4.6 – Válvula limitadora de pressão proporcional Hawe PMV 51-44/G 24	42
Figura 4.7- Amplificador Eletrónico Tecnord EC-PWM-A1-MPC1-P.....	43
Figura 4.8- Wandfluh DOP-PM22-100 Caraterística caudal-pressão	43
Figura 4.9- Wandfluh DOP PM22-10	44
Figura 4.10- Parker P31PA12AS2AP1A	44

Figura 4.11- Circuito interno da válvula reguladora de pressão proporcional	45
Figura 5.1- Estrangulador manual F.Ili Tognella FT257_5-34	48
Figura 5.2 -Esquema hidráulico da montagem da válvula estranguladora proporcional	48
Figura 5.3 - Organização das fontes energéticas.....	51
Figura 5.4 - Quadro original e quadro atual	51
Figura 6.1- Listagem de todos os programas e etapas programadas	53
Figura 6.2- Distribuição dos programas pelas tarefas	53
Figura 6.3 - Estrutura Geral do Programa	54
Figura 6.4 - Geração do Impulso e Contagem dos ciclos.....	56
Figura 6.5 - Calculo dos tempos de atuação de EV1, EV2 e EV5	56
Figura 6.6 - Ordem de Comando de EV1, EV2 e EV5	57
Figura 6.7 - Regulação da pressão no início do ensaio.....	57
Figura 6.8 - Regulação da pressão durante o ensaio.....	57
Figura 6.9 - Comando da válvula limitadora de pressão proporcional	58
Figura 6.10 - Curva de Impulso e respetiva derivada	58
Figura 6.11- Aproximação por segmentos de reta da curva de impulso	58
Figura 6.12 - Limites para a curva de impulso estabelecidos pela normalização	59
Figura 6.13 - Cálculo dos limites para a curva de impulso	60
Figura 6.14 - Montagem apropriada para a válvula estranguladora proporcional.....	61
Figura 6.15 - Modelo da regulação de caudal	61
Figura 6.16 - Resultado dos limites programados	61
Figura 6.17 - Metodologia para verificação da rampa de pressão.....	62
Figura 6.18- Comando da válvula estranguladora proporcional.....	62
Figura 6.19 - Etapa de Purga.....	63
Figura 6.20- Metodologia para deteção de fugas	63
Figura 6.21 - Processamento das variáveis para o ensaio de rebentamento	64
Figura 6.22- Comando das válvulas reguladoras de pressão pneumáticas.....	64
Figura 6.23- Registo da pressão máxima	65
Figura 6.24- Painel Inicial HMI	66
Figura 6.25 - Aviso de Emergência	67
Figura 6.26 -Manual Utilização HMI- Configuração do Ensaio de Impulso	68
Figura 6.27 - Manual Utilização HMI - Execução Ensaio de Impulso	69
Figura 6.28 -Manual Utilização HMI- Configuração e Execução do Ensaio de Rebentamento	70
Figura 6.29 - Manual Utilização HMI - Manutenção do Equipamento.....	71
Figura 6.30 Esquema de ligação Modbus TCP/IP Ethernet	72

Figura 6.31 - Switch TP-LINK TL-SG1005D	72
Figura 6.32- Estrutura da rede de comunicação implementada.....	73
Figura 6.33 - Modelo de acesso VPN	73
Figura 6.34 - Relatório de Rebentamento	74
Figura 6.35 - Relatório de Impulso	74

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Caraterísticas da banca Uniflex P300.....	10
Tabela 2.2- Caraterísticas da banca Resato HPU-RTC	11
Tabela 2.3- Caraterísticas da banca Blum Impulse Test Stand for Industrial Requirement.....	12
Tabela 2.4- Caraterísticas da banca Bimal BIR800	12
Tabela 2.5- Caraterísticas das bancas Bimal BPSDP1 e BI1001K.....	13
Tabela 3.1- Caraterísticas da central hidráulica	20
Tabela 3.2 - Listagem de válvulas	26
Tabela 3.3- Listagem de sensores e transdutores	27
Tabela 3.4- Caraterísticas do processador Siemens S5-100U	28
Tabela 3.5- Caraterísticas do módulo de entradas digitais	28
Tabela 3.6- Caraterísticas do módulo de saídas digitais	29
Tabela 4.1- Listagem de Entradas Digitais.....	36
Tabela 4.2- Listagem das saídas digitais	37
Tabela 4.3- Listagem de Entradas Analógicas	38
Tabela 4.4- Listagem de Saídas Analógicas	39
Tabela 4.5 - Resumo dos módulos do Autómato	42
Tabela 5.1- Resultados do ensaio para montagem da válvula estranguladora proporcional .	49
Tabela 6.1- Tempos de ciclo e watchdog para cada tarefa	53
Tabela 6.2 - Cálculo dos pontos para os segmentos de reta.....	59
Tabela 6.3 - Botões Especiais HMI.....	66
Tabela 7.1- Ensaio 1: Baixo Volume, 150bar 0,8Hz	75
Tabela 7.2- Ensaio 1: Baixo Volume, 150bar, 1,2Hz	76
Tabela 7.3- Ensaio 1: Baixo Volume, 700bar, 0,8Hz	76
Tabela 7.4- Ensaio 2: Médio Volume, 150bar 0,8Hz	77
Tabela 7.5- Ensaio 2: Médio Volume, 150bar 1,2Hz	78
Tabela 7.6- Ensaio 2: Médio Volume, 700bar 1,2Hz	78
Tabela 7.7- Ensaio 2: Médio Volume, 700bar 1,0Hz	79
Tabela 7.8 - Ensaio 3: Alto Volume, 150bar, 0,8Hz	80
Tabela 7.9 - Ensaio 3: Alto Volume, 150bar, 1,2Hz	80
Tabela 7.10 - Ensaio 3: Alto Volume, 700bar 1,0Hz	81
Tabela 7.11 - Ensaio 3: Alto Volume, 700bar 0,8Hz	81
Tabela 7.12 - Ensaio 4: Baixo Volume; 100; 200; 300 bar- 30seg	82
Tabela 7.13- Ensaio 4: Baixo Volume; 500 bar- 30seg	83
Tabela 7.14- Ensaio 4: Baixo Volume; 700, 600 bar c/rebentamento- 30seg.....	84

Tabela 7.15 - Ensaio 5: Médio Volume; 100, 200, 500, 600 bar c/rebentamento- 30seg	85
Tabela 7.16- Ensaio 5: Alto Volume; 100, 400 bar -60seg.....	87

1 Introdução

1.1 Apresentação da Balflex

Em atividade desde 1963, a **Balflex®** é um grupo internacional de empresas dedicadas ao design, produção e distribuição de todos os tipos de tubos flexíveis, conexões, adaptadores, engates rápidos e correias em V, com elevados padrões de qualidade.

Mais de meio século de profissionalismo e experiência nesta área, fazem da **Balflex®** a primeira escolha para a indústria, mineração, agricultura, exploração *off-shore* e de construção. Hoje, o grupo **Balflex®** abrange clientes no mundo inteiro, através de instalações de produção e uma ampla rede de distribuição. [1]



Figura 1.1 Balflex Portugal: Centro de Distribuição

1.2 Apresentação da VMFlex

A VMFlex é uma empresa portuguesa do grupo **Balflex®** que desenvolve e comercializa soluções rentáveis, eficientes e eficazes, destinadas ao mercado ibérico da gestão e manutenção industrial. [2] É responsável pela manutenção das bancas de ensaio do grupo **Balflex®** e em particular pela requalificação da banca de ensaios do presente trabalho.



Figura 1.2 Stand e Instalações da VMflex

1.3 O projeto na Balflex / VMflex

Um dos principais fatores de desempenho de uma organização é a qualidade dos seus produtos e serviços [3]. Existe uma tendência mundial no sentido do aumento das expectativas do consumidor em relação à qualidade nos produtos/serviços por preços cada vez menores.

A Balflex está no ramo da Hidráulica há mais de 50 anos, o que reflete a experiência acumulada e a confiança dos seus clientes. Está também certificada por várias entidades internacionais, permitindo evidenciar a garantia relativa à qualidade do produto que fabrica, assegurada por uma entidade independente.

O equipamento que se pretende requalificar no presente, é uma banca de ensaios de mangueiras hidráulicas a elevada pressão existente no laboratório de qualidade da Balflex (figura 1.3). Realiza o ensaio de impulso e o ensaio de rebentamento de mangueiras. Estes são os principais ensaios de certificação e de controlo de qualidade de mangueiras, os quais devem ser imparciais e independentes do pessoal afeto ao ensaio, quer por seguirem normalização com parâmetros de acordo com o tipo de mangueira a ensaiar muito vulneráveis ao erro humano, quer pela qualidade que um ensaio autónomo garante aos seus clientes. Para atingir esse objetivo, o ensaio deve ser assegurado por meios totalmente automatizados.



Figura 1.3 - Laboratório de controlo de qualidade da Balflex

1.4 Motivação para o projeto

Talvez por curiosidade ou até receio, é normal ser sentida a necessidade de compreender melhor a vida de um engenheiro na indústria. Com o aproximar do fim da vida académica e a entrada no mercado de trabalho à porta, pode-se tentar cumprir tal desiderato com a realização da dissertação de mestrado, cartão-de-visita de um novo graduado, em ambiente empresarial num desafio onde fosse interessante trabalhar e possível pôr em prática a formação adquirida.

O facto de este projeto ser a automação de um equipamento único em Portugal que poderia ter como destino a sucata devido ao elevado custo da assistência especializada que necessitava, tornou este desafio aliciante pois desafiava a capacidade de vencer o desconhecido.

Pareceu uma ótima oportunidade de assumir o desafio e a decisão de o agarrar foi tomada.

1.5 Organização e temas abordados no presente relatório

Este trabalho está dividido em 8 capítulos.

No capítulo 1, o presente capítulo, é feita uma apresentação da Balflex e da VMflex para contextualizar o tema desta dissertação e os objetivos que a suportam.

O capítulo 2, é um estudo prévio aos sistemas de ensaio existentes que serviram como referência para este trabalho. Abordou-se também o conceito de mangueira hidráulica e fez-se uma cuidada análise à normalização de ensaio.

No capítulo 3, é feito um estudo prévio que disponibiliza a informação técnica dos componentes que já estavam implementados e que serão utilizados neste trabalho. Neste capítulo é também feita uma análise do problema baseado numa especificação, na perspetiva do cliente/utilizador.

No capítulo 4, é apresentada a solução global para o problema e são descritos os equipamentos adquiridos para este projeto de dissertação e as suas características técnicas gerais. Numa segunda parte é apresentada uma proposta de solução detalhada e de todo o equipamento necessário que vai ao encontro da especificação do cliente apresentada no capítulo anterior.

No capítulo 5, é feita uma descrição de todos os passos que envolveram a implementação da solução estudada, os obstáculos encontrados e, conseqüentemente a sua resolução.

O desenvolvimento do sistema de controlo está explicado no capítulo 6. São focados os aspetos mais essenciais da programação do autómato e da *HMI* e todos os outros recursos utilizados.

O capítulo 7, é uma avaliação ao produto final que, através de ensaios experimentais, se definiram os limites funcionais da banca.

Por último, as conclusões e trabalhos futuros propostos são discutidos no capítulo 8.

2 Sistemas de Ensaio de Mangueiras Hidráulicas

2.1 Mangueira Hidráulica

A hidráulica está presente no nosso quotidiano em diversas aplicações, desde elevadores hidráulicos de edifícios residenciais, a máquinas industriais sujeitas a ambientes particularmente rigorosos (figura 2.1).

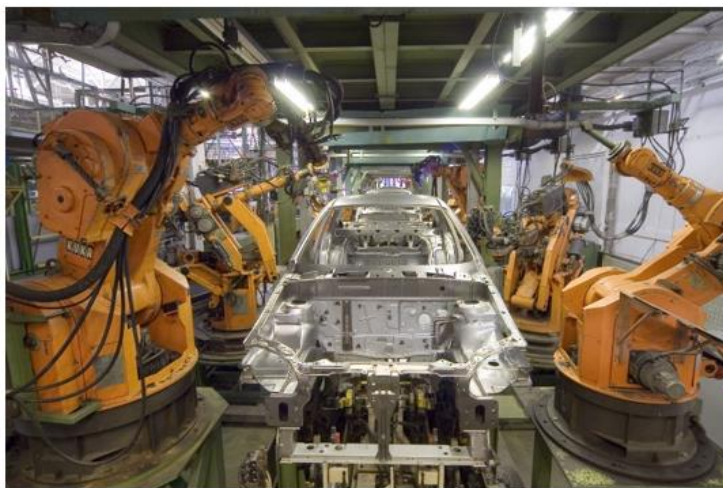


Figura 2.1 - Exemplos de aplicação de mangueiras hidráulicas

Uma mangueira hidráulica é o elemento de ligação entre os componentes de um circuito hidráulico e, em caso de rotura, pode comprometer a integridade e segurança de todo o sistema e dos seus utilizadores. Existe uma grande variedade de tipos de mangueiras hidráulicas, mas todas têm de ser cravadas com os elementos terminais específicos e que cumpram a normalização.



Figura 2.2 - Acessórios terminais para mangueiras hidráulicas

2.2 Normalização

Existem várias entidades que determinam as normas para o controlo e padronização a seguir, entre as quais se destacam a *ISO-International Organization for Standardization* e a *SAE-Society of Automotive Engineers*. No entanto, na Europa, as mais utilizadas são as normas alemãs *DIN- Deutsches Institut für Normung* [4], mais exigentes, fruto da inovação, qualidade e técnica vanguardista, impulsionada pela necessidade, investimento e capacidade industrial. Desde cedo a indústria alemã percebeu a necessidade da padronização das técnicas de fabrico e ensaio e a hidráulica não foi exceção. As normas internacionais *ISO* e *SAE* baseiam-se frequentemente nas normas *DIN*, sendo posteriormente ajustadas para o sistema internacional adotado e revistas de acordo com o avanço da tecnologia.

Para testar a qualidade de uma mangueira hidráulica, existem ensaios destrutivos, onde se ensaia sob condições extremas, e ensaios não destrutivos onde se testa a mangueira montada com o propósito de verificar a qualidade da mangueira e da cravação dos manguitos em termos da sua durabilidade temporal.

A máquina de ensaio instalada na Balflex foi concebida no início dos anos 1990 e vendida no ano 1995, isto é, há 20 anos atrás. É imperativo analisar as normas implementadas na altura da sua conceção e as normas atualmente aplicadas, pois podem ter sido revistas ou substituídas, exigindo outras condições de ensaio.

Na altura do fabrico da máquina, em **1995**, a banca de ensaios cumpria, segundo o construtor, as seguintes normas:

- **DIN EN ISO 1402:1994** [5] - Especifica os métodos do ensaio hidrostático para mangueira plásticas e de borracha, incluindo os métodos para determinação da estabilidade dimensional.
 - Esta norma sofreu uma revisão em 2009 sendo agora designada por **DIN EN ISO 1402:2009**
- **DIN EN ISO 6803:1994** [6]- Descreve o ensaio de impulso sem flexão para mangueiras plásticas e de borracha para altas e baixas pressões de impulso. É considerada alta pressão para valores superiores a 3MPa (30bar) e baixa pressão para valores entre 1,5MPa (15bar) ate 3MPa (30bar). O procedimento de teste é aplicado para mangueiras que serão sujeitas a pressões de serviço pulsantes que estão incluídas nos requisitos do produto.
 - Esta norma sofreu uma revisão em 2008 sendo agora designada por **DIN EN ISO 6803:2008**
- **SAE J343 (1990)** [7] Descreve os testes de impulso, rebentamento, hidrostático e outros testes hidráulicos para mangueiras hidráulicas da série SAE 100R. Esta normalização SAE fornece os métodos para testar e avaliar o desempenho de mangueiras usadas em sistemas hidráulicos.
 - Esta norma sofreu uma revisão em 2012 sendo agora designada por **SAE J343 (2012)**

2.3 Normalização referente ao 'Ensaio de Impulso'

O ensaio de impulso é uma recriação acelerada da vida útil que a mangueira sofre. Embora as normas não sejam tão exigentes, a Balflex orgulha-se de submeter as suas mangueiras a ensaios de um milhão de ciclos.

As normas que ditam os procedimentos a efetuar no ensaio de impulso sem flexão são a DIN EN ISO 6803 [5] e SAE J343 [7].

Quanto aos procedimentos a adotar, forma de cálculo e outros requisitos, estas normas são idênticas. De uma forma sucinta e geral, salvo exceções descritas nas normas de cada tipo construtivo de mangueira, o ensaio segue as seguintes regras:

Condições de Ensaio

- quatro provetes de mangueiras montados com os terminais adequados devem ser ensaiados com circulação de fluido à base de petróleo a uma temperatura de 100°C; com uma tolerância de $\pm 3^\circ\text{C}$;
- a pressão de ensaio corresponde a 133% da pressão máxima de trabalho especificada;
- os provetes devem atingir no mínimo 200 000 ciclos sem apresentar vazamentos ou outros defeitos.

Procedimento de ensaio

O ensaio de impulso deve ser conduzido em provetes de mangueiras montadas e não envelhecidas. Os conjuntos montados devem ser submetidos a um ensaio em equipamento adequado com a mangueira dobrada de forma a apresentar-se com o menor raio de curvatura permitido pelas respetivas especificações:

- mangueiras com diâmetro nominal menor que 25 mm devem ser curvadas a 90° ou 180°;
- mangueiras com diâmetro nominal maior ou igual a 25 mm devem ser curvadas a 90°;
- para curvatura de 180°, o comprimento livre entre conexões é:

$$l = \pi (\text{raio mínimo de curvatura}) + 2 \times (\text{diâmetro externo da mangueira})$$

- para curvatura de 90° o comprimento livre entre conexões é:

$$l = \frac{\pi \times \text{raio mínimo de curvatura}}{2} + 2 \times (\text{diâmetro externo da mangueira})$$

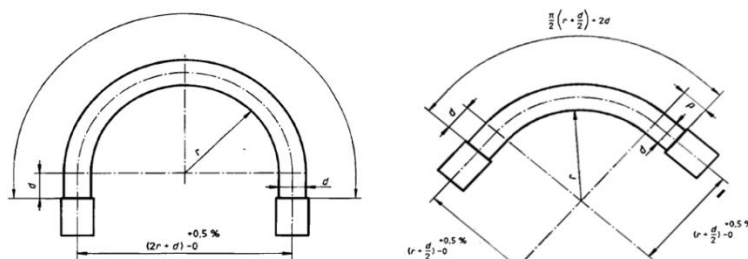


Figura 2.3 - montagem do provete a 180° e a 90°

A frequência de impulso deve estar entre 50 e 75 ciclos por minuto (0,8Hz a 1,2Hz) à pressão especificada.

A circulação do fluido de ensaio deve ter caudal suficiente para manter a temperatura uniforme dentro da mangueira. Não é permitida a refrigeração ou aquecimento da câmara de ensaio, exceto quando a especificação exigir teste com fluido à base sintética a uma temperatura maior que 150°C.

A curva de pressão deve conformar-se o mais próximo possível à curva mostrada na figura 2.4, a menos que uma falha ocorra primeiro.

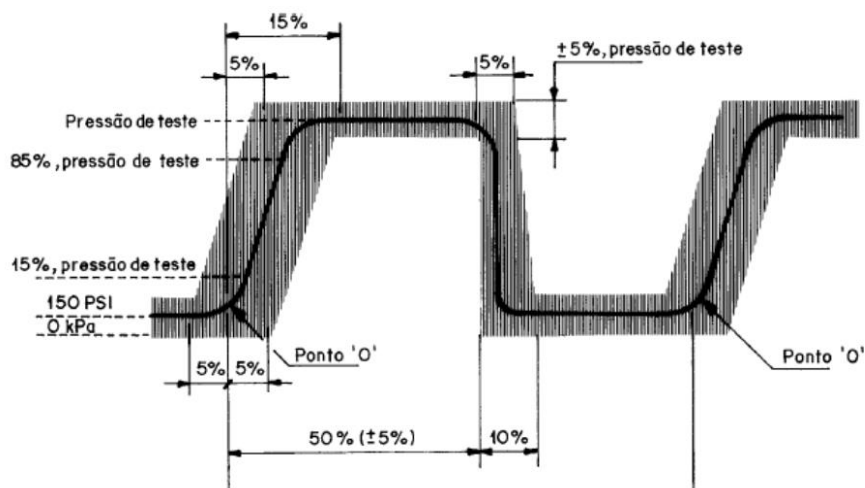


Figura 2.4 - Curva de ensaio própria do ensaio de impulso

É recomendado que o fluido de ensaio seja trocado frequentemente, para evitar a sua deterioração, dada a elevada temperatura a que os ensaios decorrem.

Resultados

No resultado do ensaio deve ser registado o seguinte:

- referência à norma seguida;
- designação completa da mangueira com referência aos terminais utilizados;
- temperatura do fluido e câmara de ensaio;
- pressão de teste;
- designação do tipo de óleo utilizado;
- taxa de aumento de pressão e a frequência de ensaio;
- raio de curvatura aplicado, 90° ou 180°;
- número de ciclos registado após o término do ensaio, ou até ocorrência de eventuais falhas;
- resultado de ensaio;
- data de conclusão do ensaio e nome da pessoa responsável.

2.4 Normalização referente ao 'Ensaio de Rebentamento'

O ensaio de rebentamento consiste no aumento gradual da pressão até provocar o seu rebentamento, de modo a comprovar a sua resistência. As normas que ditam os procedimentos a efetuar no ensaio de rebentamento são a DIN EN ISO 1402 [6] e a SAE J343 [7].

Estas normas descrevem o procedimento completo do ensaio hidrostático, que consiste numa sequência de testes que devem ser realizados para uma mangueira para cumprir a normalização. Para o ensaio de rebentamento, os procedimentos a adotar, forma de cálculo e outros requisitos, estas normas descrevem-se da seguinte forma:

Procedimento de Ensaio

Submeter uma mangueira nova, montada com os terminais adequados, comprimento livre entre os terminais de 300 mm, à pressão hidrostática, aumentando a pressão constantemente até atingir a pressão mínima de rutura especificada, mantendo esta por um período não inferior a 30s e não superior a 60s. Durante este período, não devem ocorrer falhas de vazamento ou rutura da mangueira. Posteriormente continuar o aumento gradual de pressão até à rutura total da amostra.

Resultados

No resultado do ensaio deve ser registado o seguinte:

- referência à norma seguida;
- designação completa da mangueira com referência aos terminais utilizados;
- temperatura do fluído e câmara de ensaio;
- pressão de rebentamento especificada;
- pressão de rebentamento verificada;
- designação do tipo de fluído utilizado;
- resultado de ensaio;
- data de conclusão do ensaio e nome da pessoa responsável.

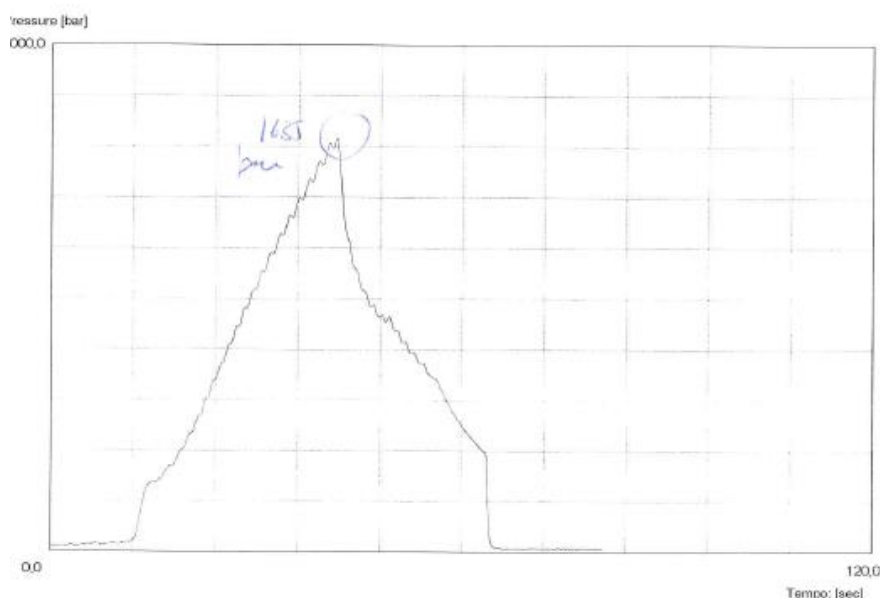


Figura 2.5 - Curva própria do ensaio de rebentamento

2.5 Bancas de Ensaio de Referência

No mercado das máquinas de ensaio de mangueiras hidráulicas existe alguma variedade de equipamentos, desde máquinas manuais, em que todo o controlo é efetuado manualmente pelo operador, não garantindo assim uma inspeção imparcial para todas as mangueiras ensaiadas, até às soluções completamente automatizadas, que executam o ensaio automaticamente de acordo com o exigido nas normas aplicadas.

Estudaram-se as soluções existentes, desde as mais simples até às mais atuais e complexas com o objetivo de se compreender o seu funcionamento e se elaborar a melhor solução de automação.

Os principais fabricantes deste tipo de máquinas de ensaio de mangueiras hidráulicas e as soluções que disponibilizam listam-se a seguir, conforme o ensaio que realizam.

2.5.1 Uniflex

A *Uniflex Hydraulik GmbH* [8] é uma empresa alemã que fabrica e comercializa há mais de 40 anos, sistemas inovadores para o fabrico e processamento de mangueiras. A sua gama de bancas de ensaio é composta por 4 modelos. A banca mais semelhante à máquina a requalificar é o modelo P300. No entanto, esta banca apenas realiza o ensaio de rebentamento.



Figura 2.6 - Uniflex P300

Este modelo possui as seguintes características:

Tabela 2.1 Características da banca Uniflex P300

Uniflex P300	
Ensaio	Ensaio à pressão de teste
Pressão de teste	100 até 1000 bar
Controlo	Automático por meio de um PLC e uma HMI tátil
Meio de pressão	Multiplicador pneumo-hidráulico
Caudal	13 l/min
Alimentação	380 VAC
Reservatório	140 l
Outras Funcionalidades	Ensaio simultâneo a 4 mangueiras com adaptadores próprios Porta paralela para ligação a impressora Gera relatório de ensaio via HMI

2.5.2 Resato

A *Resato International* [9] é uma empresa sediada na Holanda, das principais fabricantes de tecnologia no campo de alta pressão e desenvolvimento de componentes e sistemas até 14.000 bar. Apenas fabricam bancas de ensaio hidrostático e a banca mais complexa é o modelo especificado **Resato HPU-RTC**:



Figura 2.7- Resato HPU-RTC

Este modelo possui as seguintes características:

Tabela 2.2-Caraterísticas da banca Resato HPU-RTC

Resato HPU-RTC	
Ensaio	Ensaio Hidrostático (Verificação da variação do comprimento e expansão volumétrica, teste de torção e rebentamento)
Pressão de teste	Até 10 000 bar
Controlo	Automático por meio de um PLC e uma HMI tátil 15''
Caudal	50l/min
Alimentação	380 VAC
Reservatório	140l
Outras Funcionalidades	Verificação dimensional da mangueira, analisando a variação do comprimento, a torção e expansão volumétrica.

2.5.3 Blum

A *Blum GmbH* [10] é uma empresa alemã reconhecida pelo desenvolvimento e tecnologia de testes para máquinas-ferramenta e para a indústria automóvel e aviação. Na área de testes hidráulicos possuem vários equipamentos para diferentes ensaios.



Figura 2.8- Blum Novotest

A máquina designada por “*Impulse Test Stand for Industrial Requirement*” apresenta as seguintes características:

Tabela 2.3- Características da banca Blum Impulse Test Stand for Industrial Requirement

Blum- Novotest	
Ensaio	Impulso
Pressão de teste	Até 1500 bar
Frequência de Impulso	0 ...1,7 Hz
Temp. Máxima de ensaio:	160°C
Cilindrada de impulso	140 cm ³
Controlo	Automático por meio de um PLC e um computador integrado
Alimentação	380 VAC

2.5.4 Bimal

A *Bimal SRL* [11] é uma empresa italiana fundada em 1984, dedicada ao projeto e construção de máquinas de ensaio para laboratórios, testes de qualidade para a produção industrial, equipamento didático para universidades e escolas. Atualmente é a marca de referência para máquinas de ensaio de componentes hidráulicos.

O modelo mais completo e atual é o **BIR800** que realiza o ensaio de impulso com flexão e rotação.



Figura 2.9 - Bimal BIR800

Tabela 2.4- Características da banca Bimal BIR800

Bimal BIR800	
Pressão de teste	Até 800 bar
Frequência de Impulso	0,05 ...1,7 Hz
Temp. Máxima de ensaio:	125°C
Cilindrada de impulso	1594 cm ³
Controlo	Automático por meio de um PLC e um computador separado
Alimentação	380 VAC

No entanto, as máquinas que mais se assemelham às características da banca em requalificação são o modelo BPSDP1 que realiza o ensaio de rebentamento até 5000 bar e o modelo BI1001K que realiza o ensaio de impulso até 1000 bar.

Tabela 2.5- Características das bancas Bimal BPSDP1 e BI1001K

BPSDP1	BI1001K
	
<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio de rebentamento até 5000 bar • 1l/min @ 200 bar 0.1 l/min @ 5000 bar • Possui um caixão em madeira para proteção da envolvente • Opcional: Computador para aquisição de dados e impressão do relatório 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio de impulso: 80 até 1000 bar • Frequência de impulso máx.: 1 Hz • Cilindrada por impulso : 230 cm³ • Testa até 4 mangueiras em simultâneo • Temperatura máxima: 130°C • Computador e impressoras integrados na máquina

3 Descrição da Banca em Estudo

Neste capítulo é feita uma análise detalhada da banca de ensaios alvo deste estudo. Começa com uma breve descrição dos principais componentes da banca e, posteriormente, é descrito o princípio de funcionamento de cada um dos ensaios, da solução de comando e controlo existentes.

As temáticas abordadas nesta análise estão distribuídas da seguinte forma:

- Breve descrição dos componentes da banca
 - câmara de ensaio
 - centrais hidráulicas
 - painel de comando
 - computador
 - quadro elétrico
- Princípio de funcionamento do “Ensaio de Impulso”
- Princípio de funcionamento do “Ensaio de Rebentamento”
- Elementos de comando e controlo da banca

3.1 Breve descrição

A banca de ensaios **Bimal 1000S1** é uma banca que realiza dois tipos de ensaios, o “de rebentamento” e o “de impulso” sem flexão. Esta particularidade é pouco encontrada nas máquinas que atualmente são fabricadas já que, em geral, são específicas para cada tipo de ensaio.



Figura 3.1 - Bimal 1000 S1

Realiza ensaios de impulso até 1000bar. No entanto, não dispõe de nenhum bloco para montagem simultânea de várias mangueiras, o que a torna pouco eficiente, visto ser necessário ensaiar quatro provetes para respeitar a norma. Assim sendo, são necessários 4 ensaios para validar cada tipo de mangueira.

No ensaio de rebentamento atinge a pressão máxima de 5000 bar. Este valor permite ensaiar toda a gama de mangueiras fabricadas pela Balflex.

3.1.1 Câmara de Ensaio

A câmara de ensaio, como o próprio nome refere, é o habitáculo onde são montados os provetes. Dispõe de uma janela em policarbonato protegida por uma grade de aço, para proteção do operador. Dada a alta pressão atingida no ensaio de rebentamento, existe um caixão em madeira reforçado com chapa de aço, para absorção do impacto no momento de rebentamento e evitar projeção de partes do provete.



Figura 3.2 - Câmara de Ensaio

É iluminada por uma lâmpada fluorescente tubular, comandada por um interruptor no comando da banca e dispõe de um interruptor de fim de curso, como elemento de segurança, que deteta a sua abertura e interrompe o ensaio em curso.

3.1.2 Painel de Comando

O Painel de comando da banca é constituído por:

- grupo de comandos digitais e monitorizações,
- grupo de válvulas manuais.

O Grupo de comandos digitais e monitorizações está organizado por secções:

- Na primeira secção - “Comando Geral”: existem 2 interruptores biestáveis, um para ligar a banca de ensaios e o outro para ligar a iluminação. Uma botoneira de emergência, que corta todo circuito de comando, e um seletor triplo para seleção do respetivo ensaio. Existem ainda dois sinalizadores luminosos: um para alertar para a falta de óleo e outro para assinalar a existência de uma falha grave.
- Na segunda secção - “Ensaio de Rebentamento”: existe um seletor triplo que permite executar a purga do ar no interior da mangueira, antes de se iniciar o ensaio de rebentamento, e um mostrador digital que apresenta o valor da pressão lida pelo

transdutor. Existe um sinalizador luminoso indicando quando o circuito entra em “alta pressão”, informação necessária para o comando manual.

- Na terceira secção - “Ensaio de Impulso”: encontra-se a interface homem-máquina que permite definir o número de ciclos, a frequência de impulso e o *duty cycle* da curva de pressão. Existem, ainda, dois botões luminosos monoestáveis que permitem “iniciar” e “parar” o ensaio. Existe também um controlador digital, para regular a temperatura do fluido de impulso, e dois mostradores digitais, um para a temperatura da câmara de ensaio e outro para a pressão de impulso.
- Existe ainda um grupo de manómetros indicadores da pressão em vários pontos do circuito para o operador regular a banca através das válvulas manuais.



Figura 3.3 - Painel de Comando

3.1.3 Comando Manual de Válvulas

No painel frontal da máquina encontram-se as válvulas que permitem realizar ajustes manuais da máquina. São meios de comando que requerem experiência por parte do operador para regular corretamente os parâmetros de ensaio.

Existem:

- duas válvulas pneumáticas reguladoras de pressão, com ajuste manual, para realizar o ensaio de rebentamento,
- uma válvula limitadora de pressão hidráulica,
- um estrangulador manual, para realizar ajustes no ensaio de impulso.

Existem, ainda, dois comandos manuais de válvulas que permitem fechar o circuito hidráulico do manómetro e do transdutor de pressão do ensaio de impulso a fim de aumentar o seu tempo de vida útil.



Figura 3.4 - Comando Manual de Válvulas

3.1.4 Sistema Elétrico

O quadro elétrico encontra-se na face lateral da banca, isolado do resto dos componentes. Inclui o autómato, fontes de alimentação, disjuntores, contadores e relés de comando. Os circuitos elétricos na banca de ensaios são divididos em dois grupos:

- o circuito de comando;
- o circuito de potência.

O circuito de comando é composto pelos elementos que enviam uma ordem em forma de sinal elétrico de baixa tensão, que será recebido por dispositivos eletromecânicos que atuam em elementos interruptores no circuito de potência.

Os elementos eletrónicos de controlo são o autómato Siemens S5 e o controlador digital de temperatura Gefran (descritos detalhadamente no subcapítulo 3.4.3- Elementos de Controlo e Monitorização).

O circuito de potência engloba os elementos que fornecem energia, desde a rede elétrica trifásica, fontes de alimentação, conversores de corrente e elementos que a utilizam, como motores elétricos, solenóides de válvulas, etc.

O circuito de **potência** divide-se nos seguintes grupos:

- **Circuito trifásico de 380VAC**- é responsável pela alimentação dos motores elétricos e da resistência de aquecimento. Fornece também energia a uma fonte de 220VAC e uma fonte 24VAC. Está protegido por disjuntores magnetotérmicos e um seccionador geral.
- **Circuito 220VAC** - é alimentado por uma fonte 220VAC e está conetado à lâmpada de iluminação da câmara de ensaio e a um extrator para arrefecimento da máquina.

- **Circuito 24VAC**- alimenta os relés, contadores e sinalizadores luminosos. Tem ainda um retificador que origina o circuito 24VDC.
- **Circuito 24VDC** - O circuito de 24VDC alimenta todas as eletroválvulas, transdutores e o autômato. Estão associados também 3 relés necessários para a sequenciação de válvulas comandadas pelo autômato. Caso a botoeira de emergência seja ativada, todo o circuito 24VDC é cortado, e consequentemente o autômato desliga-se e não é possível controlar e monitorizar a banca.



Figura 3.5 - Quadro Elétrico

3.1.5 Central Hidráulica

A Central hidráulica encontra-se na parte posterior da máquina. Dispõe de dois motores elétricos e três bombas hidráulicas. Existe ainda no interior da banca uma motobomba responsável pela circulação do fluido aquecido. A tabela 3.1 descreve principais características:

Tabela 3.1- Características da central hidráulica

Motobomba nº1 – acionamento do multiplicador de pressão		
	Motor elétrico de acionamento	
	Marca	MarelliMotor - Serie Blu
	Potência elétrica:	9kW $\cos\phi = 0,82$
	Alimentação trifásica:	380V 50Hz
	Velocidade nominal:	1460 rpm
	Bomba Hidráulica	
	Tipo Construtivo:	nd
	Caudal nominal:	16l/min
	Pressão nominal:	350bar
Motobomba nº2 – Comando do multiplicador e circuito de arrefecimento (agregado de 2 bombas)		
	Motor elétrico de acionamento	
	Marca	MarelliMotor - Serie Blu
	Potência elétrica:	2,2kW $\cos\phi = 0,8$
	Alimentação trifásica:	380V 50Hz
	Velocidade nominal:	1420 rpm
	Bomba Hidráulica	
	Tipo Construtivo:	nd
	Caudal nominal:	nd
	Gama de pressão:	nd
	Bomba Hidráulica	
	Tipo Construtivo:	nd
	Caudal nominal:	nd
	Pressão nominal:	100bar
Motobomba nº3 – Circulação do fluido de ensaio		
 	Motor elétrico de acionamento	
	Marca	MarelliMotor
	Potência elétrica:	0,75kW $\cos\phi = 0,75$
	Alimentação trifásica:	380V 50Hz
	Velocidade nominal:	1385 rpm
	Bomba Hidráulica	
	Tipo Construtivo:	Engrenagem exterior
	Caudal nominal:	nd
	Pressão nominal:	20 bar

3.2 Princípio de funcionamento do ensaio de impulso

O ensaio de impulso recorre a um grande número de componentes, o que o torna complexo. É necessário criar pressão nos provetes na forma de uma onda quadrada e ainda controlar a temperatura do fluido de ensaio e a contagem dos ciclos realizados.

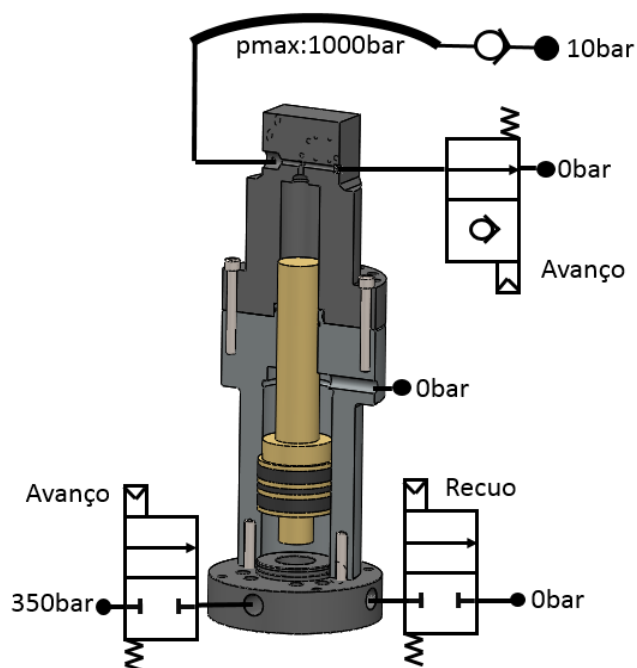


Figura 3.6 - Funcionamento do multiplicador hidráulico

Dada a elevada pressão de ensaio necessária, recorre-se a um multiplicador de pressão. É um órgão hidráulico constituído por um atuador linear de simples efeito de haste mergulhante, que define a câmara secundária de “alta pressão”. A câmara primária de “baixa pressão” pertence a um outro atuador linear de simples efeito, com êmbolo, sendo a haste comum ao atuador secundário. A razão de áreas entre a câmara primária e a secundária define a razão de multiplicação de pressão.

A câmara principal é movida pelo caudal da bomba hidráulica principal acionada eletricamente por um motor de 9,2 kW.

A geração da onda quadrática de pressão corresponde aos movimentos de avanço e de recuo do multiplicador comandado por um conjunto de válvulas que condicionam os movimentos do multiplicador. A despressurização da mangueira é conseguida com o recuo do multiplicador até atingir o equilíbrio de pressões e a desatuação da válvula do circuito de circulação do fluido de teste. Neste caso, a câmara principal está aberta ao reservatório, onde a pressão manométrica é nula. O recuo do multiplicador é auxiliado pela pressão induzida pelo circuito de circulação do fluido.

A força de um eletroímã convencional ronda os 100N [12], valor insuficiente para garantir o deslocamento rápido da gaveta das válvulas EV1 e EV2 que comandam o fluxo hidráulico no multiplicador, sendo então pilotadas hidraulicamente. A linha piloto é comandada por eletroválvulas de bloqueio 2/2 e alimentada por uma bomba hidráulica acionada por um motor elétrico de 2,2kW. A este motor está também acoplada uma bomba

encarregue da circulação do fluido por um permutador de calor, regulando a temperatura do reservatório principal.

A válvula denominada por EV5 é pilotada pneumaticamente por uma eletroválvula direcional 3/2, responsável pela abertura do circuito de alta pressão para circulação do fluido.

É necessária uma válvula de retenção à entrada do provete para fechar o circuito de circulação e permitir pressurizar o provete.

Um esquema simplificado do circuito hidráulico usado no ensaio de impulso é mostrado na figura 3.7. O esquema detalhado da máquina encontra-se no anexo **Esquemas hidráulicos**.

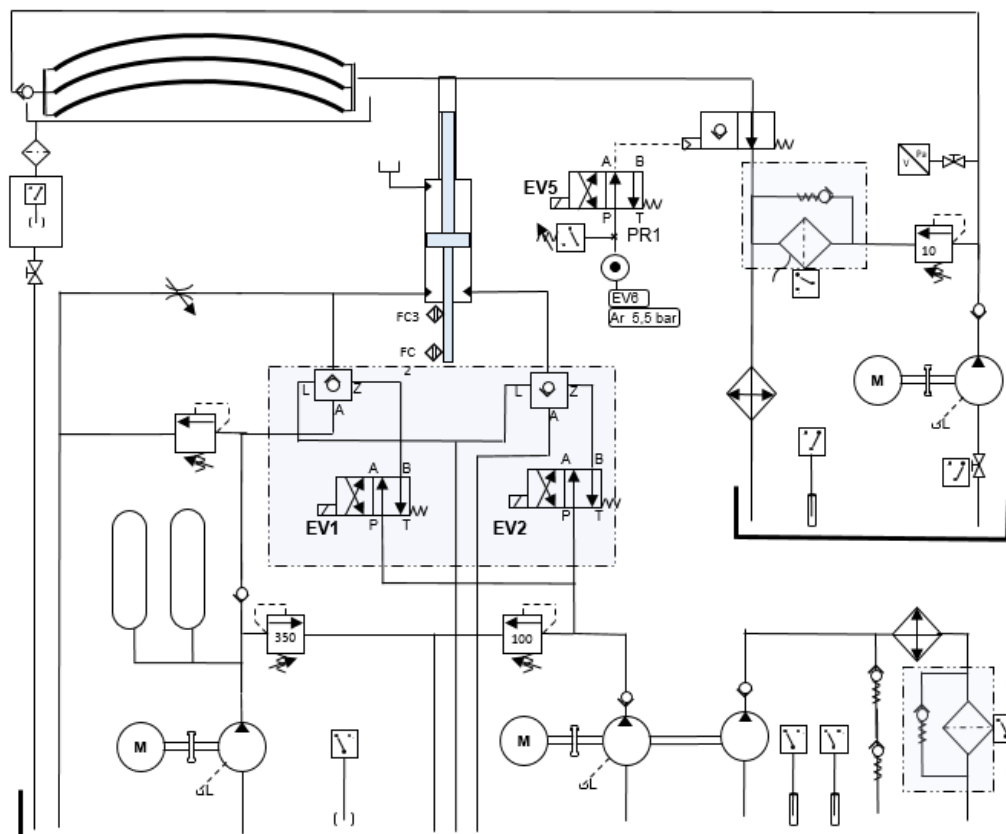


Figura 3.7- Circuito hidráulico inicial do ensaio de impulso

A sequenciação do ensaio é dirigida por um autômato programável onde é possível definir os intervalos de tempo designados por “*T on*” e “*T off*”, o número de ciclos a realizar, e a frequência de impulso.

No intervalo de tempo “*T on*” o autômato atua as eletroválvulas EV5 e EV1 fechando a circulação do fluido de ensaio. Neste intervalo de tempo deve ser considerado o tempo de resposta do PLC para atuar a saída digital, o tempo de resposta até a abertura da gaveta.

$$T_{onreal} = T_{respplc} + T_{actvalvula} + T_{onciclo}$$

No intervalo “*Toff*” o autômato atua a eletroválvula válvula EV2 que permite a saída do fluido de comando do multiplicador de pressão e desatua a eletroválvula EV5. O recuo é forçado pela pressão no provete. Quando o detetor de fim de curso de recuo do multiplicador está atuado, a eletroválvula EV2 é desatuada.

É importante considerar neste intervalo, o tempo de resposta do sistema, como no intervalo “*Ton*”.

$$T_{offreal} = T_{respplc} + T_{actvalvula} + T_{offciclo}$$

Como referido previamente, é necessário o controlo da temperatura do fluido de ensaio. A solução aplicada passa por prever um reservatório de fluido secundário, aquecido através de uma resistência elétrica de 3kW e arrefecido por um permutador de calor de geometria tubular refrigerado a água da rede de distribuição. O fluido deste reservatório circula através do provete por uma bomba acionada por um motor elétrico de 0,75kW, de modo a manter a temperatura constante ao longo do ensaio. O controlo da temperatura é conseguido com um transdutor do tipo PT100 associado a um controlador digital *Gefran* 2100 com duas saídas digitais, uma para o elemento de aquecimento, a resistência elétrica, e outra para o controlo de uma eletroválvula 2/2 que comanda o fluido refrigerante do permutador de calor.

O controlo da temperatura do reservatório principal é efetuado pelo autómato auxiliado por dois termostatos, um regulado a 45°C e outro a 60°C. Quando a temperatura ultrapassa os 45°C, o termostato atua uma eletroválvula através de um relé para a abertura do circuito refrigerante do permutador de calor. Devido à histerese do termostato este desatua o relé aproximadamente a 40°C. Em caso de sobreaquecimento, o termostato regulado a 60°C força a paragem do equipamento.

3.3 Princípio de funcionamento do ensaio de rebentamento

Para a realização do ensaio de rebentamento a banca conta com dois multiplicadores pneumo-hidráulicos da *Haskel* [13] (figura 3.8) responsáveis pelo bombeamento do óleo aumentando gradualmente a pressão.

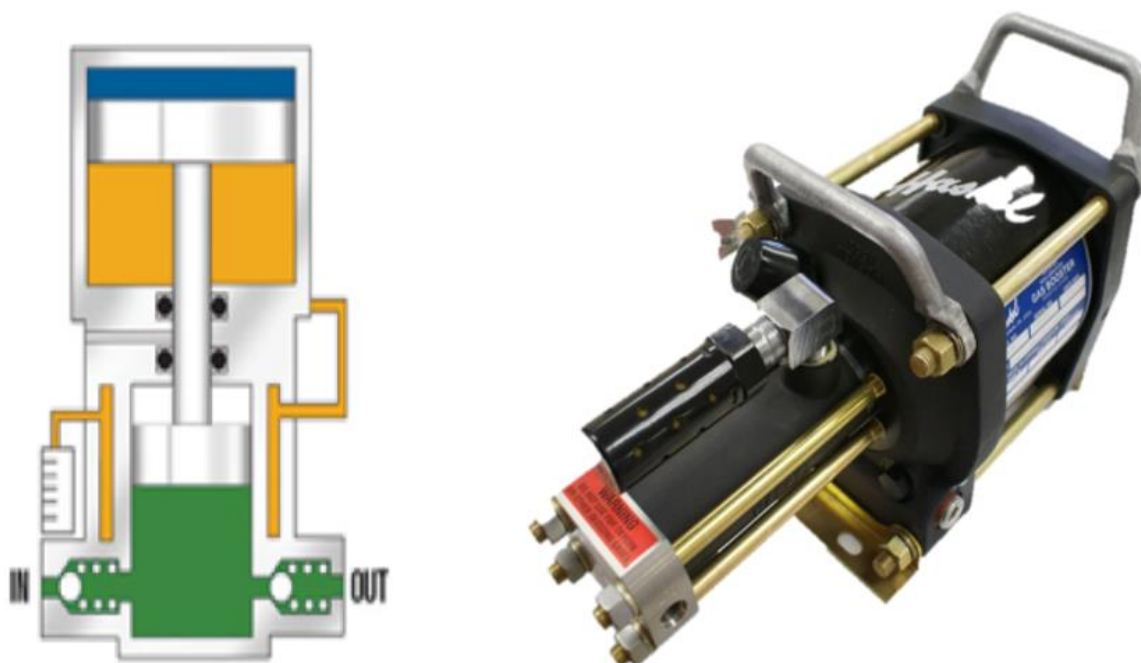


Figura 3.8- Multiplicador Pneumo-hidráulico

Estes multiplicadores pneumo-hidráulicos, estão montados em série totalizando uma relação de compressão de aproximadamente 930:1, entre a pressão pneumática de alimentação e a pressão hidráulica para o ensaio.

Quando o ensaio é selecionado são atuadas duas eletroválvulas direcionais 3/2 que alimentam pneumaticamente os multiplicadores. O operador regula manualmente de forma sequencial os reguladores de pressão pneumáticos. Existe também no segundo multiplicador

pneumo-hidráulico uma válvula direcional 3/2 pilotada pneumaticamente que comanda o avanço e recuo do segundo multiplicador pneumo-hidráulico.

Em caso de emergência, é necessário um alívio rápido da pressão no circuito de ensaio. Uma eletroválvula convencional não consegue vencer 5000 bar a atuar sobre a gaveta da mesma. Para solucionar este problema, é utilizada uma válvula pilotada por um grande êmbolo pneumático e retorno por mola. Por segurança, a sua posição normal é aberta.

A medição da pressão é efetuada por um transdutor associado a um mostrador digital. Existe um pressostato regulado a 200bar associado a um sinalizador luminoso que indica quando o circuito se encontra em alta pressão.

O esquema do circuito de rebentamento encontra-se na figura 3.9.

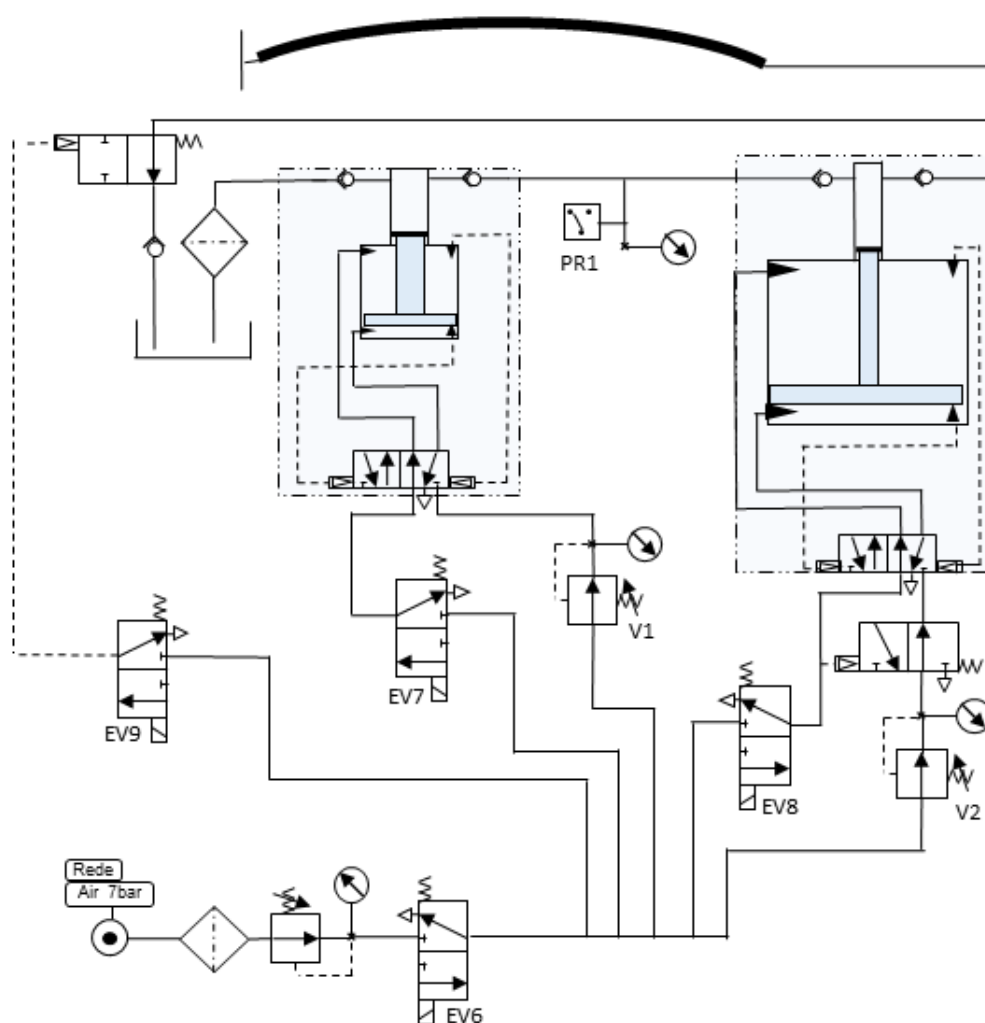


Figura 3.9 - Circuito hidráulico e pneumático do ensaio de rebentamento

3.4 Elementos de Controlo e Monitorização

Como é de esperar, para uma máquina projetada nos inícios dos anos 90, os elementos de comando evidenciam alguma desatualização tecnológica. Está instalado na máquina um autómato programável da Siemens, modelo S5, composto pelo processador central e por módulos de entradas e saídas digitais. As variáveis analógicas provenientes dos transdutores de temperatura e de pressão, são analisadas por indicadores digitais próprios que condicionam o sinal e enviam para uma carta de aquisição de dados num computador que gera o relatório de ensaio e exibe as curvas de pressão através de um *software* concebido pelo fabricante.

Foi importante atender a todas as características dos equipamentos de controlo e monitorização, de modo a realizar-se uma correta seleção dos componentes a substituir na requalificação.

A descontinuação da produção de alguns componentes dificultou a recolha de fichas técnicas e outras informações de alguns equipamentos, apesar do seu bom funcionamento.

Lista-se a seguir os componentes ativos durante o funcionamento da banca, agrupados pela função que executam:

3.4.1 Válvulas

Tabela 3.2 - Listagem de válvulas

Designação	Tipo	Função	Estado	
Válvulas manuais	V1	Válvula reguladora de pressão pneumática	Regula a pressão de alimentação do 1º multiplicador pneumo-hidráulico	NOK
	V2	Válvula reguladora de pressão pneumática	Regula a pressão de alimentação do 2º multiplicador pneumo-hidráulico	NOK
	V3	Válvula limitadra de pressão manual	Regula a pressão do multiplicador e consequentemente a pressão de ensaio de impulso	OK
	V4	Estrangulador Manual	Regula o caudal no ensaio de impulso (para efeitos de controlo da curva de pressão)	NA
	V5	Estrangulador Manual	Permite cortar o ramal do circuito do transdutor de leitura de alta pressão de Impulso	OK
	V6	Estrangulador Manual	Permite cortar o ramal do circuito do manómetro de leitura da baixa pressão de Impulso	OK
Válvulas Pilotada	V7	Válvula direcional pilotada pneumaticamente	Atuda pela válvula EV5	NOK
	V8	Válvula pilotada hidraulicamente	Atuada pela válvula EV1	OK
	V9	Válvula pilotada hidraulicamente	Atuada pela válvula EV2	OK
Eletroválvulas	EV 1	Vál. dir. 3/2 NC	Comanda o avanço do multiplicador de pressão	OK
	EV 2	Vál dir 3/2 NC	Comanda o recuo do multiplicador de pressão.	OK
	EV 3	Vál dir 2/2 NC	Controla o circuito de refrigeração do reservatório principal	NOK
	EV 4	Vál dir 2/2 NC	Controla o circuito de refrigeração do reservatório de impulso	NOK
	EV 5	Val. dir. retenção NO	Controla a descarga de fluido hidráulico ao reservatório	NOK
	EV 6	Val. dir. 3/2 NC	Corta a alimentação pneumática	OK
	EV 7	Val. dir. 3/2 NC	Abertura da linha de pressão do 1º multiplicador pneumo-hidráulico	OK
	EV 8	Val. dir. 3/2 NC	Abertura da linha de pressão do 2º multiplicador pneumo-hidráulico	OK
	EV 9	Val. dir. retenção NO	Atua sobre a válvula de descarga de alta pressão do fluido hidráulico ao reservatório	NOK

OK: em funcionamento; NOK: mau funcionamento; NA: não avaliado

3.4.2 Sensores e Transdutores

Tabela 3.3- Listagem de sensores e transdutores

Designação	Tipo	Função	Estado
FC1	Fim de curso mecânico NA (<i>micro switch</i>)	Monitoriza o fecho da camara de ensaio	OK
FC2	Sensores Magnéticos de Efeito Hall	Fim de curso do multiplicador ao recuo	OK
FC3	Sensores Magnéticos de Efeito Hall	Fim de curso do multiplicador ao avanço	OK
FC4	Fim de curso mecânico (<i>micro switch</i>)	Monitoriza a abertura da borboleta do passador de alimentação da bomba nº3	OK
LI1	Fim do curso mecânico (tipo boia) NC	Monitoriza o nível mínimo do reservatório principal	OK
LI2	Fim do curso mecânico (tipo boia) NC	Monitoriza o nível mínimo do reservatório da camara de ensaio	OK
FI1	Pressostato	Monitoriza o estado filtro do reservatório principal	NA
FI2	Pressostato	Monitoriza o estado filtro do reservatório secundário	NA
PR1	Pressostato	Monitoriza a pressão mínima da rede pneumática à entrada da banca	OK
PR2	Pressostato	Monitoriza a pressão circuito de rebentamento em alta pressão @150bar	OK
I1	Contacto auxiliar de disjuntor	Monitoriza o estado do Disjuntor da Bomba nº1	OK
I2	Contacto auxiliar de disjuntor	Monitoriza o estado do Disjuntor da Bomba nº2	OK
I3	Contacto auxiliar de disjuntor	Monitoriza o estado do Disjuntor da Bomba nº3	OK
P1	Transdutor de pressão 4-20mA /0-2000 bar	Fornece o valor instantâneo da pressão de impulso na forma de um sinal analógico	OK
P2	Transdutor de pressão 4-20mA /0-5000 bar	Fornece o valor inst. da pressão de rebentamento na forma de um sinal analógico	OK
T1	Transdutor de temperatura PT100/3 condut.	Lê a temperatura da câmara de ensaio segundo	OK
T2	Transdutor de temperatura PT100/3condutores	Lê a temperatura do fluido de ensaio de impulso	OK

OK: em funcionamento; NOK: mau funcionamento; NA: não avaliado

3.4.3 Elementos eletrônicos de controlo e monitorização

Autômato

- O PLC instalado é composto pelos seguintes módulos:

Tabela 3.4- Características do processador Siemens S5-100U

CPU: SIEMENS SIMATIC S5-100U CPU102		
Referência	6es5102-8ma12	
Quantidade	1 unidade	
Caraterísticas	Memória RAM	2048 instruções
	Tempos de Execução	Por operação binária: aprox: 7/70 μ s
		Por operação em word: aprox. 40/125 μ s
	Flags	voláteis:1024
		não voláteis :512
	Temporizadores	32 configurável para 0,01s até 9990s
	Contadores:	32, 8 não voláteis: configuráveis 0 até 999(up/down)
	Entradas e saídas digitais:	máximo: 256
	Entradas e saídas analógicas:	máximo: 16

Tabela 3.5- Características do módulo de entradas digitais

MÓDULO DE 8 ENTRADAS DIGITAIS		
Referência	6ES5 431-8MA11	
Quantidade	2 unidades	
Caraterísticas	Número de entradas:	8
	Isolamento galvânico	Sim, em grupos de 8
	Tensão nominal	24 VDC
	Leitura sinal a "0"	0 to 5 V
	Leitura sinal a "1"	13 to 33 V
	Corrente consumida	sinal a "1":8,7 mA
	Atraso na transição:	de "0" para "1": 5,5 ms
		de "1" para "0": 4,5 ms

Tabela 3.6- Características do módulo de saídas digitais

MÓDULO DE 8 SAÍDAS DIGITAIS		
Referência	6ES5 441-8MA11	
Quantidade	1 unidade	
Caraterísticas	Número de saídas:	8
	Tensão nominal	24 VDC
	Gama de funcionamento	20 a 30 V (35V @ t<0.5s)
	Corrente de saída com sinal a “1”:	1 A @ 30 °C
		0.5 A @ 60 °C
	Corrente residual sinal a “0”:	max. 1.0mA
	Frequência de comutação	carga resistiva: max. 100 Hz
		carga indutiva: max. 2 Hz
	Corrente total admissível nas saídas:	4A

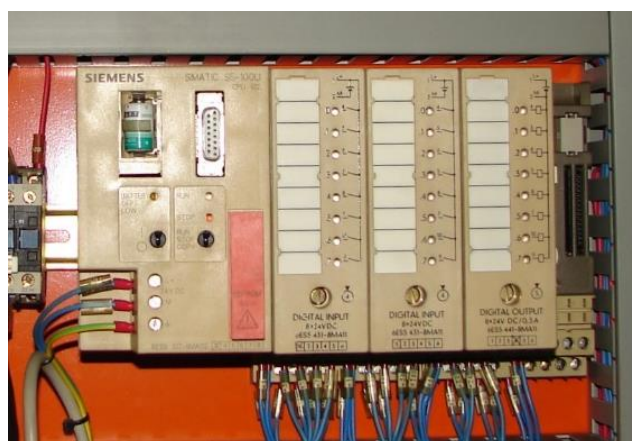


Figura 3.10- Autômato existente

Interface Homem-Máquina

Na banca de ensaios está instalada uma Interface Homem-Máquina (*HMI- Human-Machine Interface*) para regular o tempo de sequenciação do autômato e apresentar alguns avisos e mensagens de erro que os elementos de monitorização transmitem.

A interface é o modelo Siemens COROS OP5 (figura 3.11 nº5). Dispõe de um visor monocromático e um teclado numérico com teclas de função especial.

É possível regular no ensaio de impulso o “TON” e “TOFF” com uma resolução de 0,1s e o número de ciclos a realizar.

Mostradores e controlador digitais

A temperatura do fluido de ensaio é medida por um Controlador Digital de Temperatura Gefran 2100 (figura 3.11 nº1) associado a um transdutor de temperatura.

Permite controlar dois equipamentos para a regulação, quando a temperatura é inferior ao valor estabelecido atua o relé e fecha o circuito de alimentação da resistência de aquecimento. Quando a temperatura ultrapassa o valor estabelecido, é atuada a eletroválvula direcional do circuito de água do permutador. A temperatura da câmara de ensaio é obtida por um mostrador digital Gefran 40 (figura 3.11 nº4).

A pressão no ensaio de rebentamento e do ensaio de impulso são monitorizadas por mostradores digitais Gefran 2300 (figura 3.11 nº2 e nº3).

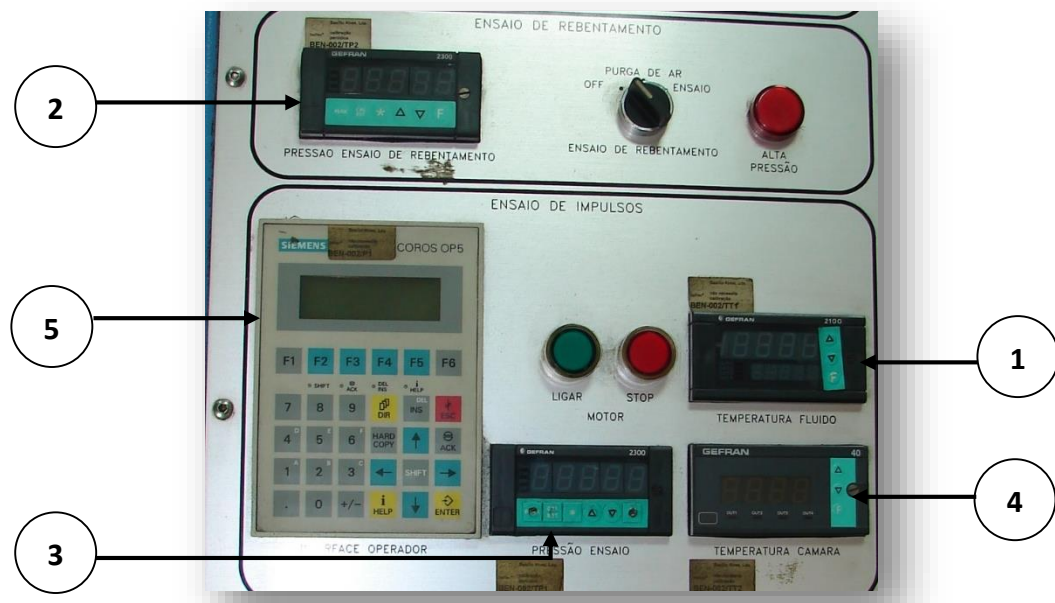


Figura 3.11- HMI e mostradores digitais

Computador

O computador que acompanha a banca de ensaios foi previsto, essencialmente, para gerar os relatórios de ensaio e permitir a visualização das curvas de evolução temporal da pressão. Este, de momento, não se encontra funcional pelo que não foi possível caracterizá-lo.



Figura 3.12- Computador para a geração dos relatórios

4 Proposta e discussão da solução e requisitos para a automação

4.1 Análise dos requisitos propostos e levantamento do estado de arte

O sucesso de uma requalificação reflete-se na satisfação plena das expectativas do cliente. O principal objetivo da Balflex, com este trabalho, é o funcionamento da banca de forma regular e fácil, o cumprimento das normas aplicáveis, podendo ser operada sem muitos conhecimentos prévios, sem colocar em risco a segurança do utilizador e do equipamento. Colheram-se outras informações sobre a empresa de modo a encontrar novas funcionalidades que poderiam ser uma mais-valia para a Balflex.

Para cumprir estes requisitos, é essencial uma automação mais global do equipamento, de forma a que os ensaios decorram de forma automática dependendo o mínimo possível de ações manuais por parte do utilizador.

Sendo um equipamento com um cliente final específico é de todo oportuno a integração de uma base de dados sobre as mangueiras produzidas pela Balflex para facilitar a introdução de dados, sendo também possível a introdução manual dos parâmetros de ensaio.

O relatório também deverá ser gerado automaticamente, para maior facilidade para o operador e cumprindo a isenção de um ensaio de garantia de qualidade.

4.2 Estudo prévio das condições de funcionamento da banca

Na análise ao funcionamento dos componentes e ao estado geral da máquina, foram detetados várias anomalias, destacando-se os seguintes problemas mais graves:

Problema nº1:

A válvula de descarga de muito alta pressão não funciona corretamente. A descarga do fluido é realizada pelos orifícios de fugas em vez de regressar ao reservatório.

Procedimento: a válvula foi retirada da máquina, limpa e verificado que continha água na câmara piloto de atuação pneumática. Este facto evidencia o fenómeno da condensação existente na rede de ar comprimido, com necessidade de melhorias nos equipamentos de tratamento e condicionamento do ar. Após a limpeza, a válvula manteve-se com o mesmo problema e após verificar-se a não existência de obstruções na mangueira de ligação ao reservatório, foi necessário proceder à substituição dos vedantes da válvula.

Problema nº2:

O controlador digital de temperatura do fluido de ensaio encontra-se avariado.

Procedimento: implementação do controlo de temperatura no autómato. Se o problema persistir, trocar o transdutor.

Problema nº3:

A válvula pilotada pneumaticamente que comanda o funcionamento do segundo multiplicador pneumo-hidráulico encontra-se com mau funcionamento.

Procedimento: Retirou-se a válvula, para uma ação de limpeza e inspeção. Verificou-se que a válvula estava mal montada, possivelmente de uma tentativa anterior de pôr a máquina em funcionamento. Montou-se corretamente e resolveu-se o problema.

Problema nº4:

As válvulas reguladoras de pressão pneumática encontram-se partidas.

Procedimento: Substituição por válvulas proporcionais referenciadas nas alterações propostas.

Problema nº5:

O multiplicador pneumo-hidráulico de alta pressão apresenta uma fuga de óleo.

Procedimento: Retirou-se o multiplicador, limpou-se e analisou-se o local de fuga. Constatou-se que o vedante da câmara de alta pressão se encontra defeituoso. Relatou-se o problema ao fabricante, *Haskel*, e encomendou-se um kit de substituição de vedantes. Resolveu-se o problema.

4.3 Avaliação da compatibilidade dos componentes com a requalificação tecnológica

Foi necessário avaliar se os elementos instalados na máquina estavam aptos a cumprir os requisitos estabelecidos no projeto de requalificação.

A máquina de ensaios possui vários elementos de comando manual, fator que motiva a automação da máquina. Seria então adequado todo o controlo ser efetuado por um único elemento de controlo, na perspetiva da integração total da máquina. Para tal foi necessário averiguar se o PLC e HMI existentes conseguem cumprir os critérios temporais e metrológicos, bem como as novas funcionalidades que se pretendem implementar.

4.3.1 Ensaio de Rebentamento

Na realização do ensaio de rebentamento é necessário o aumento progressivo da pressão no provete até entrar em rotura. A taxa de evolução da pressão depende, por um lado, da característica dos multiplicadores pneumo-hidráulicos e, por outro, das dimensões e características de rigidez das mangueiras em ensaio. Este ajuste é feito manualmente. Para que essa taxa possa ser automatizável, devem ser utilizadas válvulas proporcionais de comando eletrónico.

A pressão de rebentamento é monitorizada por um mostrador digital próprio que permite guardar o valor máximo atingido "*Peak Value*". Este mostrador comunica digitalmente com o computador equipado com uma carta de aquisição para gerar o relatório.

4.3.2 Ensaio de Impulso

No ensaio de impulso a evolução da pressão nas mangueiras segue a forma teórica de uma onda quadrada. Com o equipamento instalado, a pressão de teste e a taxa de aumento da pressão são ajustadas manualmente através das válvulas V3 e V4. Para que num ensaio não seja necessário efetuar o ajuste manual das válvulas, para cumprir o perfil de ensaio desejado, deve ser considerada a utilização de outras válvulas de comando proporcional.

O PLC apenas realiza a sequência das ações de avanço e recuo do multiplicador de pressão hidráulico e regista o número de ciclos de ensaio. Nenhuma ação de ajuste é efetuada pelo PLC, sendo os ajustes na curva e a definição dos valores de ensaio realizados pelo operador.

O registo da curva de pressão é feito através de uma carta de aquisição de dados instalada num computador complementar à máquina, não estando, portanto, integrado efetivamente na máquina e, numa análise prévia, este não se encontra em funcionamento.

A pressão e a temperatura de impulso são monitorizadas por controladores digitais próprios.

4.3.3 Aspetos Gerais de Controlo

A temperatura da câmara de ensaio é monitorizada por um controlador digital próprio. Não é conhecido o tempo de ciclo do programa do PLC, é necessário para o ensaio de impulso um tempo de ciclo máximo de aproximadamente 4ms (250Hz) para poder realizar leituras e traçar a curva de pressão com exatidão. Também não tem a possibilidade da realização de interrupções, aspeto essencial, para a execução de leituras cíclicas definidas.

Os módulos de entradas e saídas analógicas disponíveis na gama Siemens S5 não têm resolução adequada (12bit) para realizar as leituras dos transdutores equipados na banca. Com 12bit no ensaio de impulso obtém-se aproximadamente 0,6 bar de resolução e no ensaio de rebentamento aproximadamente 1,52 bar. Utilizando entradas analógicas de 16bit (15 bit unipolar) obtém-se resoluções de 0,03 bar e 0,09 bar respetivamente (ver capítulo 4.5.1).

A série S5 está descontinuada, e os módulos analógicos da atual gama da Siemens S7 são incompatíveis com o equipamento instalado.

A HMI instalada não permite a visualização das curvas de pressão, pelo que se recorre a um computador específico para a sua visualização. Também não é possível a introdução de uma base de dados.

Existe uma fonte de tensão de 24VAC com um retificador AC/DC instalado na máquina. Esta fonte fornece energia quer ao circuito de comando, quer ao circuito de potência para atuação das válvulas. Não dispõe de qualquer elemento de proteção, senão os disjuntores magnetotérmicos. Em caso de emergência, ou de curto-circuito, a alimentação do autómato e das funções de emergência associadas perdem-se.

Por estes motivos, e dado o investimento realizado, é de todo favorável a aquisição de uma fonte de alimentação 24VDC para alimentação exclusiva do autómato e dos outros elementos dedicados à monitorização.

O circuito de comando existente segue maioritariamente a lógica cablada, sendo apenas a sequenciação do ensaio e algumas monitorizações realizadas por lógica programável. Todo o circuito de comando por lógica é alimentado por uma fonte de 24VAC, sendo os seus componentes de atuação, como relés e contadores incompatíveis com um novo circuito de lógica programável a 24VDC.

4.4 Alterações propostas

Após um estudo à banca de ensaios apresentou-se à Balflex uma proposta de requalificação respondendo às especificações impostas.

Verificou-se que a requalificação do equipamento é possível e vantajosa face à aquisição de uma banca nova. Para responder aos factos listados anteriormente, torna-se essencial:

- a substituição do PLC por um que garanta um tempo de ciclo inferior a 8ms, com possibilidade de realizar interrupções,
- substituição da HMI, por uma HMI tátil com um visor de adequada dimensão para visualização de todas as variáveis necessárias e com capacidade de integração de uma base de dados das mangueiras da Balflex, onde todos os parâmetros de ensaios serão armazenados numa memória da consola, sendo necessário apenas seleccionar o código interno da mangueira,
- a substituição da válvula V1- Válvula limitadora de pressão ajustável (Manual) por uma válvula proporcional limitadora de pressão comandada pelo PLC
- a substituição da válvula V2-Válvula reguladora de pressão ajustável (Manual) por uma válvula proporcional reguladora de pressão comandada pelo PLC
- a substituição da válvula V3-Válvula reguladora de pressão ajustável (Manual) por uma válvula proporcional reguladora de pressão comandada pelo PLC
- a substituição da válvula V4- Estrangulador ajustável (Manual) por uma válvula estranguladora de caudal proporcional.
- a alteração a nível do circuito elétrico torna necessário substituir os relés de 24VAC por novos, para comando e proteção dos novos equipamentos a introduzir. Também não existem barramentos de ligação e outros elementos elétricos essenciais para cumprir as diretrizes impostas na normalização.
- dispensar a utilização do computador e dos controladores Digitais, cujas funções passarão a ser asseguradas pelo PLC e HMI.
- utilizar a ligação *Ethernet* disponível no PLC (ou HMI) para comunicação remota, nomeadamente, para impressão do relatório de ensaio e introdução de novos parâmetros para novas mangueiras a partir do escritório da empresa.
- também assim se permitirá a monitorização remota dos ensaios.
- realizar as melhorias adequadas de segurança segundo a *Diretiva Máquinas 2006/42/CE*.

4.5 Seleção do material a adquirir

4.5.1 Seleção do autômato e HMI

Para a aquisição do autômato e HMI, escolheu-se a *Schneider Electric* pelo melhor custo benefício e a liderança da companhia nesse segmento. A empresa oferece uma vasta gama de produtos e mecanismos de auxílio à sua implementação. A sua forte presença no mercado nacional permite a rápida assistência técnica dos seus produtos em caso de problemas futuros ou necessidades de expansão. A forte aposta junto dos estudantes com ações de formação e feiras tecnológicas foi também fator decisivo na escolha.

Seleção da Unidade Central de Processamento (CPU)

Para garantir uma resposta rápida e cumprimento dos requisitos temporais estabelecidos anteriormente surgiram duas opções viáveis para o projeto, o *Modicon M340* e o *Modicom M258*.

O *Modicon M340* é um autômato presente em diversas aplicações existentes no laboratório de óleo-hidráulica da Faculdade de Engenharia do Porto dispondo assim de algum apoio para a iniciação à programação.

No entanto o autômato escolhido foi o *Modicon M258*, um autômato modular com mais possibilidades ao nível de comunicação e transparência e de colocação mais recente no mercado. Tem *Ethernet* de raiz e permite a criação de uma página *web* para monitorização e controlo, fator muito importante no futuro para ações de assistência remota e acompanhamento de ensaios.



Figura 4.1- Schneider Electric Modicon M258

Em termos de desempenho, o novo autômato apresenta tempos de varrimento melhores face ao *Modicon M340*. Dispõe também de entradas e saídas rápidas que permitem tempos de leitura e comutação menores face às entradas e saídas do M340. Permite o uso de módulos de entradas analógicas de 16bit (bipolares) para leitura dos transdutores de pressão e saídas analógicas de 12 bit (bipolares) para controlo das válvulas proporcionais. Existe ainda um módulo que permite a ligação direta de *RTDs* (*Resistance temperature detector*) do tipo *PT100* e *PT1000* não sendo necessário aplicar um transmissor de temperatura.

Este processador vem acompanhado de raiz por 4 módulos de 26 entradas digitais, das quais 10 Rápidas e 16 Regulares, e de 16 saídas digitais por transistor das quais 4 Rápidas e 12 Normais.

Selecionou-se um processador com capacidade de comunicação por rede local *CANopen* para num futuro próximo realizar o comando de um servomotor que fará o movimento linear necessário ao ensaio de impulso com flexão, cumprindo assim a norma ISO6802-2.

Após o estabelecimento dos requisitos temporais necessários para o autômato é necessário quantificar todas as variáveis existentes e previstas. Foi realizada uma listagem de todas as entradas e saídas digitais e analógicas que se prevê utilizar.

Identificação das Entradas Digitais

O autômato tem de raiz 26 entradas digitais, sendo de momento necessárias apenas 19. Deste modo existem 7 entradas digitais disponíveis para futura expansão ou alterações no decorrer do projeto.

Todos os elementos serão alimentados por uma fonte dedicada juntamente com as válvulas proporcionais.

Tabela 4.1- Listagem de Entradas Digitais

Entrada Digital	Elemento	Descrição
E1	FC1	Monitoriza fecho da câmara de ensaio
E2	FC2	Monitorização de “Multiplicador Recuado”
E3	FC3	Monitorização de “Multiplicador Avançado”
E4	FC4	Monitoriza posição do passador do fluido aquecido
E5	PR1	Monitorização de Pressão Pneumática OK
E6	PR2	Monitorização de pressão hidráulica à saída do 1º multiplicador
E7	FI1	Monitoriza filtro 1 colmatado
E8	FI2	Monitoriza filtro 2 colmatado
E9	LI1	Monitoriza nível reservatório principal OK
E10	LI2	Monitoriza nível reservatório de fugas OK
E11	TR1	Monitoriza temperatura reservatório principal
E12	TR2	Monitoriza sobreaquecimento reservatório principal
E13	TR3	Monitoriza sobreaquecimento no reservatório de impulso
E14	BTS	Botoneira de Segurança (NF)
E15	Q1	Monitoriza Disjuntor Q1
E16	Q2	Monitoriza Disjuntor Q2
E17	Q3	Monitoriza Disjuntor Q3
E18	Q4	Monitoriza Disjuntor Q4

Identificação das Saídas Digitais:

As saídas digitais servem para controlar de forma booleana vários equipamentos em que o seu estado de funcionamento seja *ON/OFF*. As saídas digitais podem ser por transistor ou por relé.

Tabela 4.2- Listagem das saídas digitais

Saída Digital	Elem.	Descrição
S1	C1	Liga Motor M1 (circ. hidr. principal)
S2	C2	Liga Motor M2 (circ. hidr. secundário)
S3	C3	Liga Motor M3 (circ. fluido de ensaio)
S4	C4	Liga Resistência Aquecimento
S5	XEV1	Atuação Válvula EV1 (cmd. avanço multiplicador impulso)
S6	XEV2	Atuação Válvula EV2 (cmd. recuo multiplicador impulso)
S7	XEV3	Atuação Válvula EV3 (circ. fluido arrefecimento perm1)
S8	XEV4	Atuação Válvula EV4 (circ. fluido arrefecimento perm2)
S9	XEV5	Atuação Válvula EV5 (fecha circuito de impulso)
S10	XEV6	Atuação Válvula EV6 (abertura linha pneumática geral)
S11	XEV7	Atuação Válvula EV7 (alimentação pneum. mult. ph1)
S12	XEV8	Atuação Válvula EV8 (alimentação pneum. mult. ph2)
S13	XEV9	Atuação Válvula EV9 (fecha circuito de -rebentamento.)
S14	XEV10	Alimentação Válvula Proporcional VP1
S15	XEV11	Alimentação Válvula Proporcional VP2
S16	XEV12	Alimentação Válvula Proporcional VP3
S17	XEV13	Alimentação Válvula Proporcional VP4
S18	XM4	Atuação Motor de Arrefecimento Auxiliar
S19	L_EMG	Sinalização Luminosa de Emergência
S20	XEMR	Atuação Módulo de Emergência

São necessárias no mínimo 20 saídas digitais. A solução passa por acrescentar um módulo de 4 saídas digitais por relé ou um módulo de 6 saídas digitais por transistor. Optou-se por aplicar o módulo de 6 saídas digitais por transistor **TM5SDO6T**.

A escolha deste módulo permite que todas as saídas sejam por transistor, não existindo assim outras tensões no autómato, fatais em caso de erros de ligação. O tempo de vida útil de um transistor também é muito superior a um relé e em caso de avaria deste é necessário trocar o módulo completo.

Embora o tempo de comutação de uma saída por transistor seja cerca de 30 μ s e uma saída por relé seja cerca de 10 ms, é necessário acrescentar um relé a seguir ao transistor para comutar um elemento a atuar. O módulo disponibiliza no máximo 500mA por cada canal, não existindo assim uma diferença significativa nos tempos de atuação. A grande vantagem é a versatilidade que permite, podendo-se utilizar relés com vários contactos e diferentes tipos como por exemplo relés de estado sólido com tempos de atuação semelhantes ao de um transistor.

De qualquer modo, a uma saída por transistor foi sistematicamente associado um filtro "snubber" no transistor dada a existência de cargas indutivas.

Com o módulo escolhido sobram ainda 3 saídas digitais para futura expansão.

Identificação de Entradas Analógicas

Na banca de ensaios existem dois transdutores de pressão que fornecem um sinal em corrente de 4 a 20mA e dois sensores de temperatura PT100. Com a aplicação de 2 válvulas proporcionais reguladoras de pressão pneumática existem também mais dois transdutores de pressão para monitorizar a pressão à entrada de cada multiplicador pneumo-hidráulico.

Tabela 4.3- Listagem de Entradas Analógicas

Entrada Analógica	Elemento	Descrição
EA1	P1	monitoriza pressão de impulso ($p_{\text{máx}} = 2000 \text{ bar}$)
EA2	P2	monitoriza pressão de rebentamento ($p_{\text{máx}} = 5000 \text{ bar}$)
EA3	T1	monitoriza temperatura do óleo ($t_{\text{máx}} = \dots \text{ }^{\circ}\text{C}$)
EA4	T2	monitoriza temperatura na câmara ($t_{\text{máx}} = \dots \text{ }^{\circ}\text{C}$)
EA5	M_VP1	monitoriza pressão multiplicador p.h. de baixa pressão
EA6	M_VP2	monitoriza pressão multiplicador p.h. de alta pressão

Para avaliar a resolução adequada calculou-se a resolução prevista para os transdutores com maior gama de medição para as resoluções disponíveis, 12bit e 16bit:

Elemento: Transdutor de pressão hidráulico ensaio de impulso

Este transdutor mede a pressão hidráulica a que a mangueira está sujeita no ensaio de impulso. A sua gama de medição é 0 a 2000 bar e o seu sinal de saída varia de 4 a 20mA, existindo assim uma zona morta de 4mA, cerca de 20% da resolução total.

$$\text{Resolução(módulo 12bit)} = \frac{2000\text{bar}}{2^{12} \times 80\%} = 0,61 \text{ bar} \quad \text{Resolução(módulo 16bit)} = \frac{2000\text{bar}}{2^{16} \times 80\%} = 0,03 \text{ bar}$$

Elemento: Transdutor de pressão hidráulico ensaio de rebentamento

Este transdutor mede a pressão hidráulica que a mangueira está sujeita no ensaio de rebentamento. A sua gama de medição é 0 a 5000 bar e o seu sinal de saída varia entre 4 a 20mA, existindo assim uma zona morta de 4mA, cerca de 20% da resolução total.

$$\text{Resolução(módulo 12bit)} = \frac{5000\text{bar}}{2^{12} \times 80\%} = 1,52 \text{ bar} \quad \text{Resolução(módulo 16bit)} = \frac{5000\text{bar}}{2^{16} \times 80\%} = 0,09 \text{ bar}$$

A resolução calculada anteriormente é uma previsão para o módulo de leitura das entradas analógicas. A resolução efetiva destas medições depende da classe dos transdutores, repetibilidade e linearidade. A utilização de um módulo de 16 bit garante que a resolução de leitura dos sinais analógicos não irá influenciar a medição dos valores medidos já que para ambas as entradas obtém-se resoluções inferiores a 0,1 bar.

Para os sensores de temperatura o módulo a adquirir são de 16bit e anunciam uma resolução de 0,1 °C utilizando sensores PT100.

Os módulos escolhidos foram TM5SAI4H e TM5SAI2PH.

Identificação de Saídas Analógicas

Existem módulos de saídas analógicas de 12bit e 16bit, em que o sinal pode ser de tensão uni- ou bi- polar (-10V a 10V) ou em corrente (0 a 20mA).

Tabela 4.4- Listagem de Saídas Analógicas

Saída Analógica	Elemento	Descrição
SA1	XEVP1	Comando proporcional da válvula VP1
SA2	XEVP2	Comando proporcional da válvula VP2
SA3	XEVP3	Comando proporcional da válvula VP3
SA4	XEVP4	Comando proporcional da válvula VP4

Para avaliar a resolução do módulo calculou-se a resolução prevista necessária para se obter um controlo rigoroso dos parâmetros de ensaio:

Elemento: Válvula proporcional limitadora de pressão

Esta válvula limita a pressão a montante do multiplicador de pressão, onde à saída é aproximadamente 3 vezes superior. Deste modo a gama de pressão é aproximadamente de 0 a 1000 bar. A carta de controlo recebe um sinal de 0 a 10V reduzindo assim a resolução em 1 bit.

$$\text{Resolução(módulo 16bit)} = \frac{1000\text{bar}}{2^{15}} = 0,03 \text{ bar} \quad \text{Resolução(módulo 12bit)} = \frac{1000\text{bar}}{2^{11}} = 0,49 \text{ bar}$$

Elemento: Válvula proporcional estranguladora de caudal

Esta válvula foi inicialmente pensada para permitir uma abertura de uma linha em derivação para o reservatório à entrada do multiplicador. A gama de caudal varia de 0 a 16l/min, controlada por um sinal analógico em tensão de 0 a 10V unipolar.

$$\text{Resolução(módulo 16bit)} = \frac{16\text{l/min}}{2^{15}} < 0,01 \text{ l/min} \quad \text{Resolução(módulo 12bit)} = \frac{16\text{l/min}}{2^{11}} < 0,01\text{l/min}$$

Observando a figura 4.2 constata-se que a característica da válvula não é linear pelo que a resolução pode ser ligeiramente diferente em algumas zonas do gráfico.

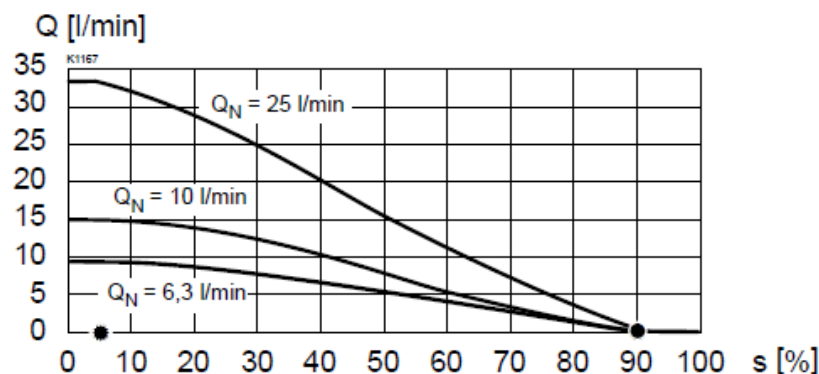


Figura 4.2 - Caraterística Q(l/min) / s(%) da válvula estranguladora proporcional

Elemento: Válvulas proporcionais reguladoras de pressão pneumáticas

Estas válvulas regulam a pressão à entrada de cada multiplicador pneumo-hidráulico. O fabricante anuncia uma histerese mínima de 0,11 bar pelo que a resolução do módulo deverá ser inferior a este valor. O sinal de controlo é efetuado por um sinal em corrente de 4 a 20 mA, existindo assim uma zona morta de 4mA, cerca de 20% da resolução total.

$$Resolução(módulo\ 16bit) = \frac{7bar}{2^{16} \times 80\%} \geq 0,001\ bar \quad Resolu\c{c}{a}{o}(módulo\ 12bit) = \frac{7bar}{2^{12} \times 80\%} = 0,002\ bar$$

Verifica-se que para todos os componentes um módulo de 12 bit tem resolução suficiente, e face ao módulo de 16 bit é 30% mais barato.

Escolheu-se o módulo **TM5SAO4L** (12bit) por ter resolução suficiente para as variáveis a controlar. O preço também é muito inferior face ao módulo com resolução de 16bit.

Interface Homem-Máquina HMI GTO 5310

Inicialmente selecionou-se uma HMI **XBTGT5340** que permitia a entrada de vídeo e som para conexão a uma câmara, fulcral para a monitorização remota dos ensaios. O ensaio de impulso, bem como o ensaio de rebentamento, pode ser acompanhado em tempo real, apenas com o auxílio de um operador para montar a mangueira. A nível comercial esta funcionalidade permite garantir a um cliente a transparência nos ensaios e assim conquistar a sua confiança na marca **Balflex®**.

Dado o elevado custo desta HMI, optou-se por instalar uma consola semelhante, mas sem entrada de vídeo, sendo complementada por uma câmara com comunicação IP. A HMI selecionada é o modelo **GTO 5310**, de 12 polegadas, de ecrã táctil. Permite a comunicação via *Modbus Ethernet TCP/IP* melhorando a velocidade de comunicação com o autómato. Também é possível aceder remotamente via *browser* do computador ou pela aplicação *Vijeo Designer Air* para os *smartphones*.



Figura 4.3 - Interface Homem Máquina HMIGTO 5310

Fonte de Alimentação

Na banca de ensaios existe um transformador 380VAC/24VAC e um retificador 24VAC/24VDC.

No entanto, face ao investimento realizado, foi adquirida uma fonte de alimentação 24VDC de 240W da *Schneider Electric*, modelo ABL8RPS24100 para ficar dedicada ao autómato, HMI, válvulas proporcionais, sensores e transdutores, que possui características adicionais de proteção e monitorização de comportamento que a solução anterior não contemplava.



Figura 4.4- Fonte de Alimentação 24VDC 10A

A fonte de 24VDC antiga fica, no entanto, dedicada a alimentação das eletroválvulas. A reestruturação do sistema elétrico está descrita em detalhe no capítulo “Requalificação de Hardware”.

Resumo do material adquirido:

Para a aplicação do novo controlador é necessário alguns elementos adicionais para a sua aplicação e conexão. Cada módulo necessita de uma base para comunicar com o bastidor e de um terminal de bornes para a conectar com os elementos exteriores.

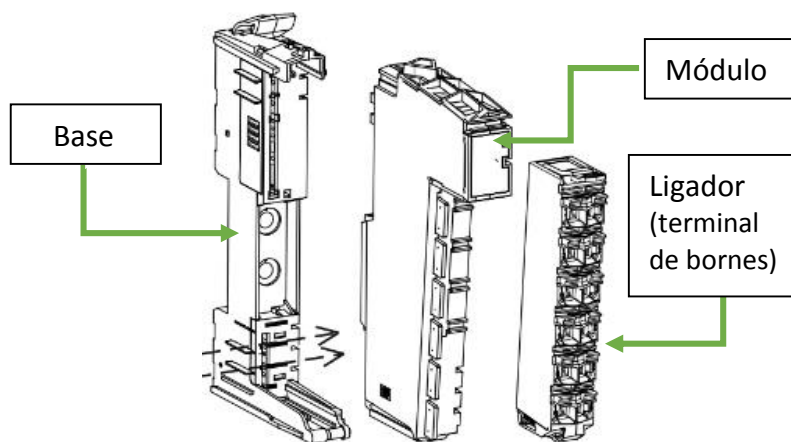


Figura 4.5 - Esquema de montagem de um módulo

Tabela 4.5 - Resumo dos módulos do Autômato

Referência:	Descrição	Quantidade
ABL8RPS24100	Fonte de alimentação 110-230-400V para 24VDC 10A	1
TM258LF42DT	Autômato M258 CANOpen c/ 26 E.D. e 16 S.D.	1
HMIGTO5310	HMI tátil GTO 5310 TFT a cores 10,4pol., Ethernet TCP/IP	1
TM5SDO6T	Módulo 6 Saídas Digitais por transistor 12W - 2W/canal	1
TM5SAI4H	Módulo 4 Entradas Analógicas 16bit $\pm 10V/0-20mA$	1
TM5SAI2PH	Módulo 2 Entradas Analógicas Temperatura PT100, PT1000 16 bit	1
TM5SAO4L	Módulo 4 Saídas Analógicas 12bit $\pm 10V/0-20mA$	1
TM5ACBM11	Base de Bastidor 24VDC Branco	4
TM5ACTB12	Ligador 12 Pinos 24VDC Branca	2
TM5ACTB06	Ligador 6 Pinos 24VDC Branca	2

4.5.2 Seleção da válvula limitadora de pressão hidráulica proporcional

Para a seleção da válvula limitadora de pressão proporcional hidráulica foi necessário estabelecer os seguintes critérios:

- manter a mesma gama de pressão no ensaio de impulso, de 100 a 1000 bar, que atendendo à razão de multiplicação do multiplicador hidráulico determinada experimentalmente resulta numa gama de pressões à entrada do multiplicador de 30 a 350bar;
- considerar o caudal máximo da válvula igual ao caudal da bomba nº1 (16l/min);
- considerar que, para eliminar o efeito de *stick and slip* na gaveta da válvula, aplicar um sinal de *dither* de pequena amplitude e alta frequência;
- considerar um sinal de comando em corrente, numa gama máxima de 0 a 20mA, ou comando em tensão, na gama de 0 a 10V
- alimentação da válvula a 24VDC.

Em resposta aos requisitos especificados. Selecionou se a válvula: **PMV 51-44 / G 24** do fabricante Hawe, com uma gama de pressão de 5 a 450bar, um caudal máximo de 16 l/min e alimentada a 24VDC.

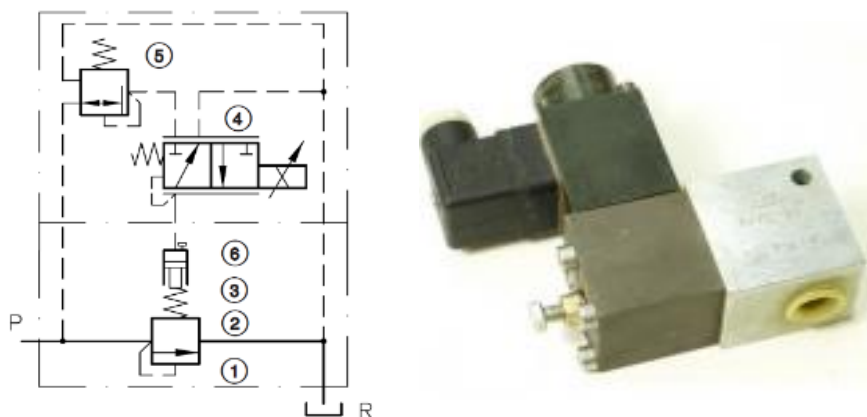


Figura 4.6 – Válvula limitadora de pressão proporcional Hawe PMV 51-44/G 24

Esta válvula precisa de um amplificador eletrónico, não incorporado, selecionado do fabricante Tecnord, modelo EC-PWM-A1-MPC1-P . Tem comando com saída em corrente de 4-20mA. Possui *dither* ajustável, controlo da zona morta, e definição da corrente máxima e mínima a fornecer à válvula.



Figura 4.7- Amplificador Eletrónico Tecnord EC-PWM-A1-MPC1-P

4.5.3 Seleção da válvula proporcional estranguladora de caudal hidráulica

Para a substituição do estrangulador de caudal manual hidráulico por um proporcional, estabeleceram-se os seguintes critérios:

- a gama de caudal a regular deve contemplar o débito máximo da bomba nº1, 0 a 16l/min,;
- deve poder funcionar a uma pressão máxima de 350 bar;
- deve permitir diminuir o efeito de *stick and slip* na gaveta da válvula, com a aplicação de um sinal de *dither* de pequena amplitude e alta frequência;
- o sinal de comando pode ser em corrente, numa gama máxima de 0 a 20 mA, ou em tensão de 0 a 10 V;
- a alimentação da válvula é preferencialmente 24VDC.

Em resposta aos requisitos especificados foi selecionada a válvula: **DOP-PM22-10** da *Wandfluh* alimentada a 24 VDC. Esta válvula apresenta um caudal nominal de 10 l/min a sua curva de funcionamento é apresentada no gráfico abaixo.

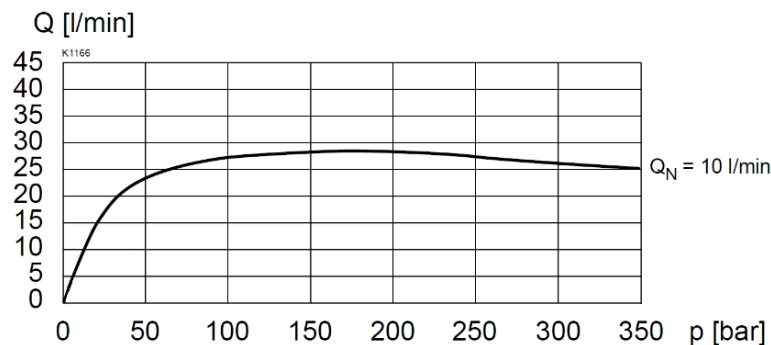


Figura 4.8- Wandfluh DOP-PM22-100 Caraterística caudal-pressão

Quanto à construção é do tipo cartucho sendo necessário um bloco normalizado M22x1,5 para se proceder à sua montagem nos equipamentos existentes.

O amplificador eletrónico está integrado na válvula e permite sinais de comando em corrente, 4-20mA, e em tensão 0-10V. Tem uma porta *USB* para ligação a um computador que, através do *software* do fabricante, permite alterar as parametrizações de funcionamento da válvula.



Figura 4.9- Wandfluh DOP PM22-10

4.5.4 Seleção de válvulas proporcionais pneumáticas

A substituição das válvulas redutoras de pressão pneumáticas de comando manual por válvulas proporcionais tem em vista a regulação da pressão à entrada dos multiplicadores pneumo-hidráulicos entre 0 e 6 bar.

É devida especial atenção à histerese destas válvulas visto que o valor da pressão será 930 vezes maior à saída do multiplicador. Esta característica pode dar origem a problemas de aumento brusco de pressão, provocando um rebentamento precoce do provete.

O sinal de comando pode ser tanto em corrente, 4-20mA, como em tensão, 0-10V, e a alimentação das válvulas preferencialmente de 24VDC.



Figura 4.10- Parker P31PA12AS2AP1A

A *VMFlex* é um distribuidor autorizado da *Parker*, pelo que se optou por este fabricante para a seleção do material. O modelo selecionado é o P31PA12AS2AP1A da gama Modulflex.

Estas válvulas são alimentadas a 24VDC e possuem uma gama de regulação de 0 a 7 bar, proporcional ao sinal de comando em corrente de 4-20mA. Têm um transdutor de pressão

incorporado de 0-10 bar que disponibiliza o sinal de *feedback* para ser lido pelo autómato através de um sinal em tensão de 0-10V.

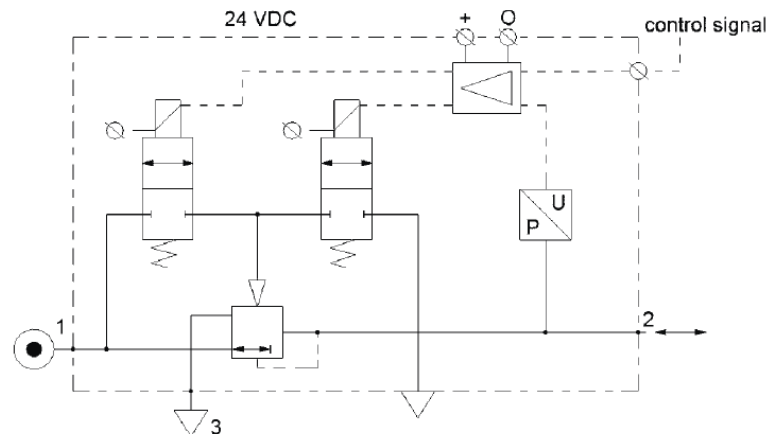


Figura 4.11- Circuito interno da válvula reguladora de pressão proporcional

Anuncia uma histerese de cerca de 0,11bar o que se traduz em incrementos de 100bar no multiplicador pneumo-hidráulico, valor que se tem que admitir excelente para a gama de pressões desejada. Este valor sofre, certamente, uma atenuação provocada pelo deslocamento do multiplicador e atendendo à compressibilidade do ar.

4.5.5 Outros elementos

Na proposta de requalificação foi ainda referenciada a necessidade de substituir e acrescentar outros elementos, hidráulicos e pneumáticos como acessórios, mangueiras, filtros, etc. e componentes elétricos, como relés, cablagem, barramentos e outros acessórios essenciais para a intervenção.

5 Requalificação de *hardware*

5.1 Alterações no Circuito Pneumático

Com a aplicação de componentes de elevado desempenho e precisão requalificou-se o circuito pneumático que data da altura de construção da máquina, o ano de 1995. Realizou-se um conjunto de trabalhos de substituição de componentes para restituir a qualidade necessária para um controlo eficaz das válvulas direcionais e proporcionais pneumáticas dos multiplicadores pneumo-hidráulicos.

As válvulas reguladoras de pressão proporcionais foram instaladas no armário elétrico da banca por serem componentes sensíveis e tornar a sua calibração mais fácil. Para evitar a libertação de vapor de água no interior do armário elétrico, colocou-se a linha de escape para fora do quadro. O filtro regulador à entrada da banca também foi substituído para garantir boa separação do condensado. Substituiu-se também toda a tubagem e acessórios pneumáticos [14].

Desta forma o funcionamento do circuito permanece com idênticas capacidades, apenas a regulação da pressão é feita pelo autómato e portanto pode ser fácil e dinamicamente ajustada, caso necessário.

5.2 Alterações no circuito hidráulico

Ao nível hidráulico a banca de ensaios sofreu algumas alterações mais significativas. Primeiramente, foram realizadas diversas reparações prévias e ensaiou-se a máquina com o sistema de controlo manual antigo. Posteriormente, foi realizado um conjunto de ensaios com o material até se conseguir os melhores resultados.

A primeira alteração foi a substituição da válvula reguladora de pressão manual por uma proporcional. A válvula manual encontrava-se instalada no painel de comando na parte frontal da máquina. Sendo agora controlada eletronicamente, colocou-se a válvula junto ao bloco de controlo do multiplicador, facilitando a sua montagem e reduzindo o custo de manutenção de substituição das duas mangueiras durante as revisões.

Anteriormente no circuito original estava montado um estrangulador manual montado em derivação ao reservatório à entrada do multiplicador. Como o elemento de visualização gráfica, o computador, não se encontrava funcional, não foi possível reconhecer a característica do estrangulador e comprovar o seu funcionamento.

Após a sua substituição por uma válvula estranguladora proporcional, constatou-se um efeito totalmente diferente face ao esperado. Constatou-se ainda que o resultado que se procurava surgia na regulação de um estrangulador unidirecional montado em linha à entrada do multiplicador (figura 5.2).

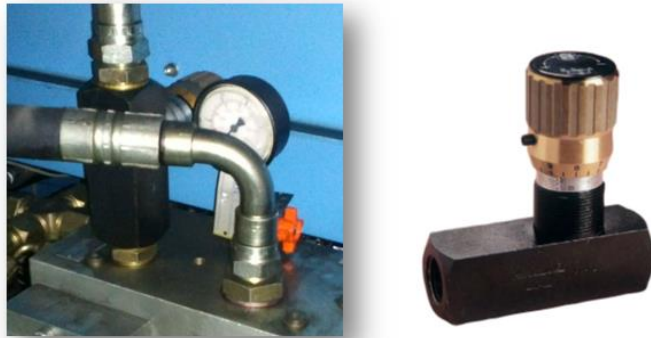


Figura 5.1- Estrangulador manual F.lli Tognella FT257_5-34

Realizou-se então um estudo para comparar a regulação entre estes dois meios de utilizando os seguintes critérios:

- Pressão de Teste: 300bar
- Frequência de Ensaio: 1Hz
- Duty Cycle: 50%

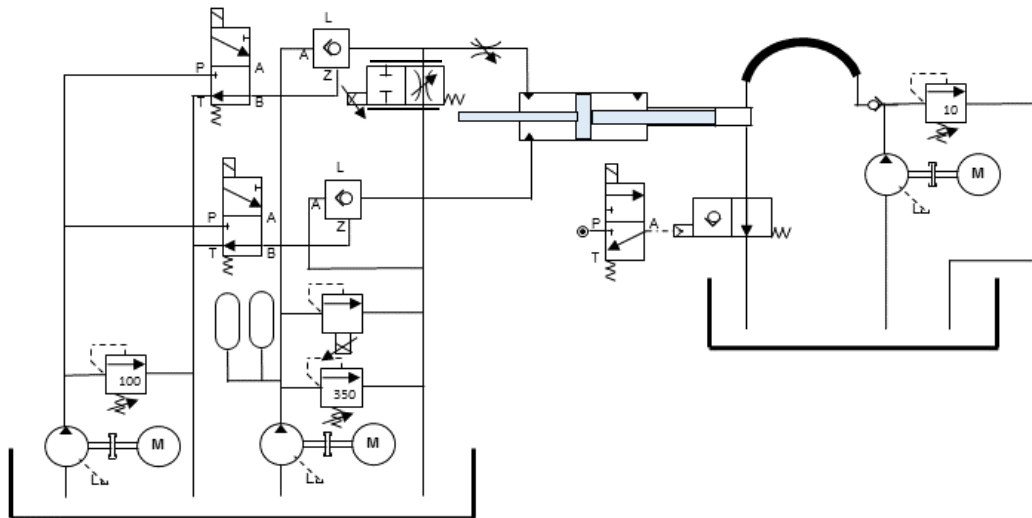


Figura 5.2 -Esquema hidráulico da montagem da válvula estranguladora proporcional

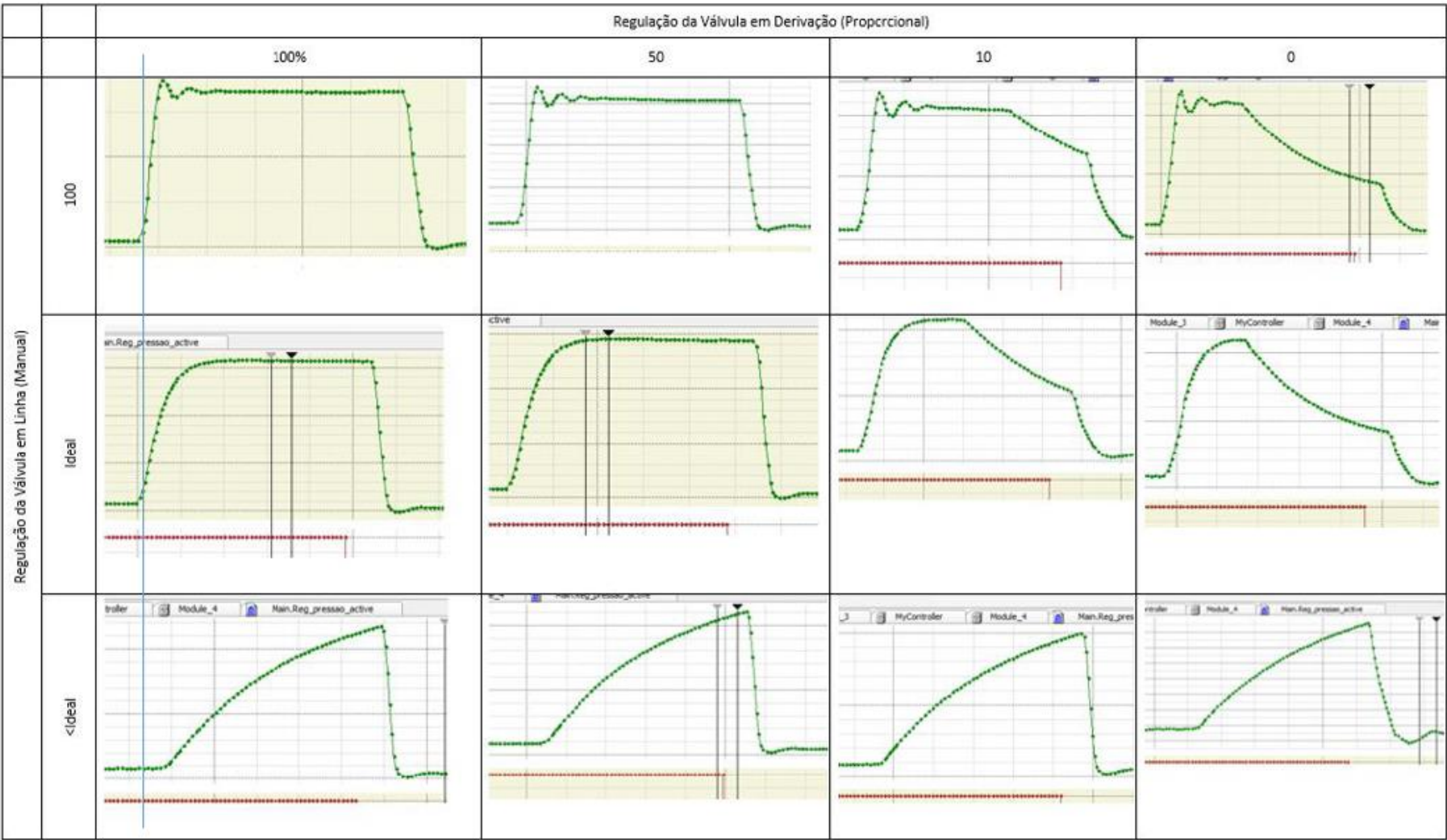
Procedimento:

Realizaram-se 3 ensaios, onde cada ensaio corresponde a uma posição diferente do estrangulador manual. Iniciando cada ensaio com a válvula estranguladora proporcional 100% fechada, retiram-se 3 amostras do gráfico, correspondendo a 3 valores de abertura da válvula proporcional: 100% , 50% e 10%.

Resultados

Apresenta-se na tabela 5.1 um quadro comparativo dos três ensaios, podendo os valores de cada ensaio serem consultados em anexo.

Tabela 5.1- Resultados do ensaio para montagem da válvula estranguladora proporcional



Pode-se concluir que o ensaio foi realizado com sucesso e a suspeita levantada anteriormente, confirma-se. A regulação que se pretende efetuar na curva de pressão deve ser realizada com a válvula estranguladora de caudal em linha e remover a linha de derivação. Esta modificação trouxe um inconveniente, visto que a válvula escolhida foi dimensionada com outros objetivos, sendo que, devido à existência de acumuladores, o caudal disponível para mover o multiplicador é muito superior ao debitado pela bomba.

Para solucionar este problema colocou-se a válvula proporcional em paralelo com o estrangulador, ficando esta solução com dois objetivos:

- O estrangulador manual realiza uma aproximação grosseira do caudal necessário, sendo o número de voltas de ajuste estimado indicado numa *popup* na HMI;
- A válvula proporcional está encarregue do ajuste fino do caudal, para que a curva de pressão cumpra os intervalos definidos.

Esta solução é abordada com maior rigor e detalhes de programação no capítulo “Programação” e subcapítulo “Regulação de caudal”.

5.3 Alterações no circuito elétrico

Com a integração de todo o controlo efetuado através do autómato e HMI, foram retirados todos os elementos de comando do painel, como seletores, botoneiras e controladores digitais, ficando apenas a botoneira de segurança e o seccionador geral.

Desta forma o circuito de comando ficou menos complexo. No entanto, era maioritariamente em 24VAC, apenas os elementos controlados pelo autómato funcionavam em 24VDC. Com a aplicação de um controlo integrado pelo autómato foi necessário converter tudo para corrente contínua.

Divisão das alimentações 24VAC potência, 24VDC potência, e 24VDC comando

No quadro existe um transformador 380VAC para 24VCA de 500VA, um retificador que converte para 24VDC. Existe também um transformador 380VAC para 220VAC de 750VA. Acrescentou-se uma nova fonte 24VDC de 10A com meios internos de proteção em caso de sobretensão ou curto-circuito.

Para a divisão da alimentação dos componentes classificou-se em:

Alimentação 220VCA - Este transformador é responsável pela alimentação da luz da câmara, do motor de ventilação, *switch ethernet* e câmara IP.

Alimentação 24VCA - Este transformador é responsável pela alimentação das bobinas dos contactores e fornece energia ao retificador. Poderia ser retirado da máquina para libertar espaço para novos componentes, no entanto seria necessário adquirir novos contactores de corrente contínua para poderem serem alimentados pela fonte 24VDC. Também deixaria de existir o circuito “24VDC Potência”.

Alimentação 24VDC Potência- O retificador fornece energia para a atuação das válvulas e mais alguns elementos de corrente contínua.

Comando 24VDC Comando - Esta fonte possui proteção interna contra curto-circuito, fundamental para a preservação do equipamento adquirido. Fornece energia ao autómato, à HMI, aos relés de comando, aos sensores, transdutores e válvulas proporcionais.

Os esquemas elétricos podem ser analisados em anexo.

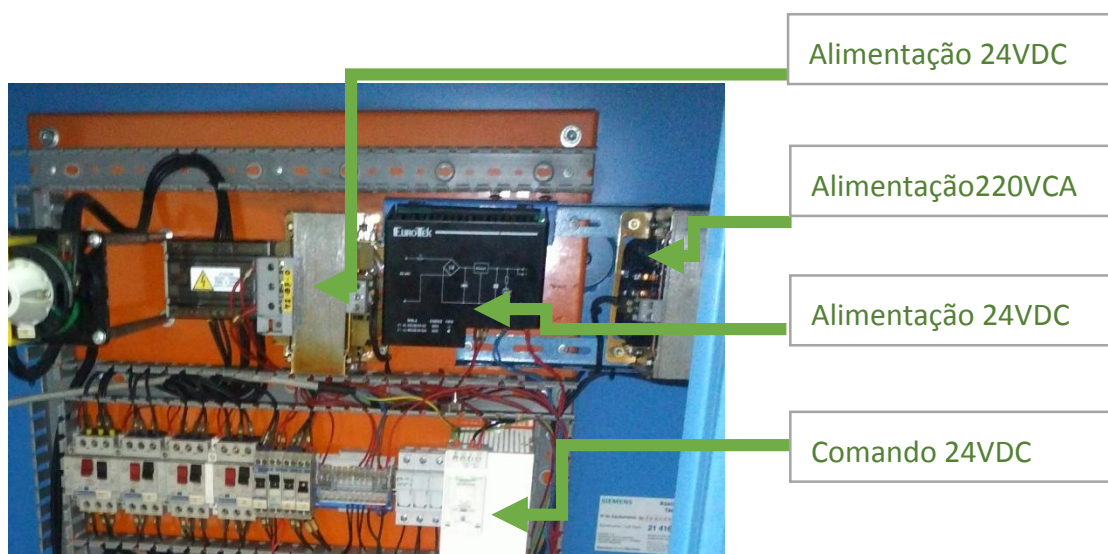


Figura 5.3 - Organização das fontes energéticas

Reestruturação do quadro para incluir os novos componentes

Embora o espaço onde o quadro está fixo seja generoso, foi necessário uma boa gestão para integrar tudo sem aplicar uma nova platine e calhas DIN de fixação. A remoção do autômato antigo e de outros elementos que já não eram necessários juntamente com o espaço livre existente permitiu instalar todos os componentes.

Removeram-se todos os relés alimentados a corrente alternada e instalaram-se relés novos de corrente contínua para compatibilidade com o novo autômato.

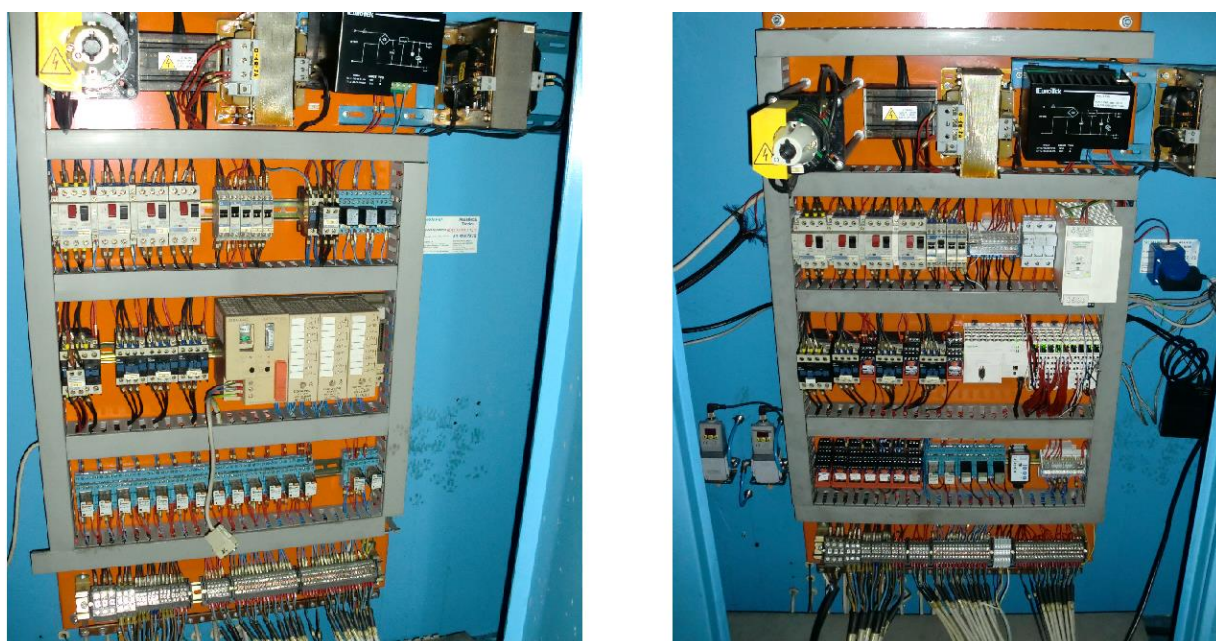


Figura 5.4 - Quadro original e quadro atual

6 Programação

6.1 Apresentação do Software Programação

A *Schneider Electric* lançou ua nova gama de autómatos e um *software* que integra a programação da consola e do autómato num único programa, o *Somachine*. Isto facilita a troca de variáveis e a configuração do protocolo de comunicação. O *download* do programa para a HMI e para o Autómato pode ser realizado simultaneamente através do cabo USB ou por Ethernet, o que se revelou bastante útil devido ao facto das portas da HMI serem de difícil acesso.

Dispõe de 6 linguagens de programação de acordo com a norma IEC:

- *CFC - Continuous Function Chart*
- *FBD - Function Block Diagram*
- *IL - Instruction List*
- *LD - Ladder Diagram*
- *SFC - Grafcet*
- *ST - Structured Text*

Na programação da banca foram utilizados as linguagens *SFC*, *ST*, *LD* e *CFC*, destacando-se esta última por ser uma linguagem recente, semelhante à linguagem por diagramas de blocos funcionais, que facilitam a programação dos autómatos e permite explorar mais as suas funcionalidades. Para um funcionamento completo da máquina foram criadas 27 páginas de programação (figura 6.1) distribuídas por 4 tarefas (figura 6.2) com tempo de ciclo diferentes apresentados na tabela 6.1.

Tabela 6.1- Tempos de ciclo e watchdog para cada tarefa

Tarefa	Tempo de ciclo		Tempo de Watchdog
Mast	3ms		300ms
Fast	1ms		150ms
Auxiliar	20ms		500ms
Visu_Task	200ms		1500ms

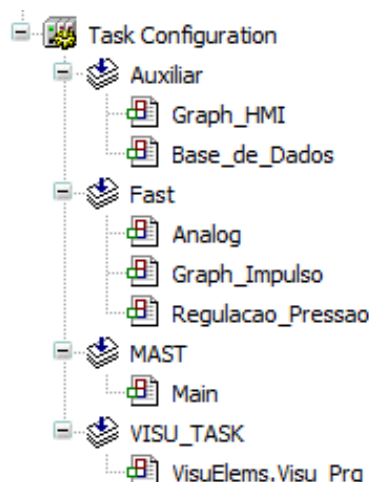


Figura 6.2- Distribuição dos programas pelas tarefas

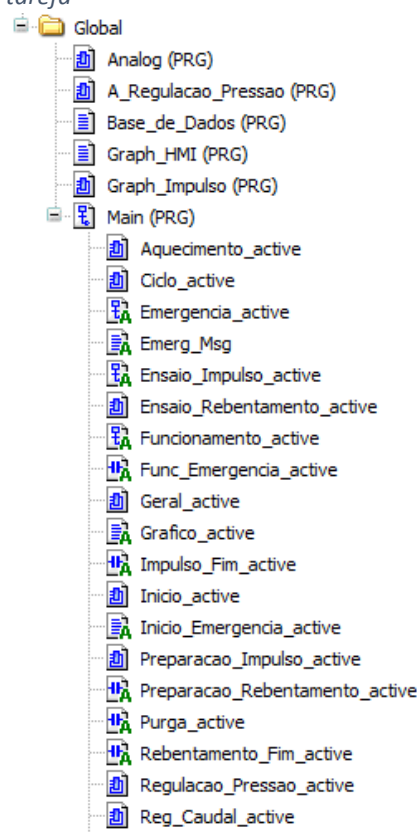


Figura 6.1- Listagem de todos os programas e etapas programadas

6.2 Programação do Autômato

6.2.1 Considerações:

É necessário programar a realização de dois ensaios, o “de rebentamento” e o “de impulso”, e contemplar o funcionamento geral máquina.

Desde o momento que a máquina é ligada, corre um programa que executa várias etapas com estruturas diferentes em *loop*.

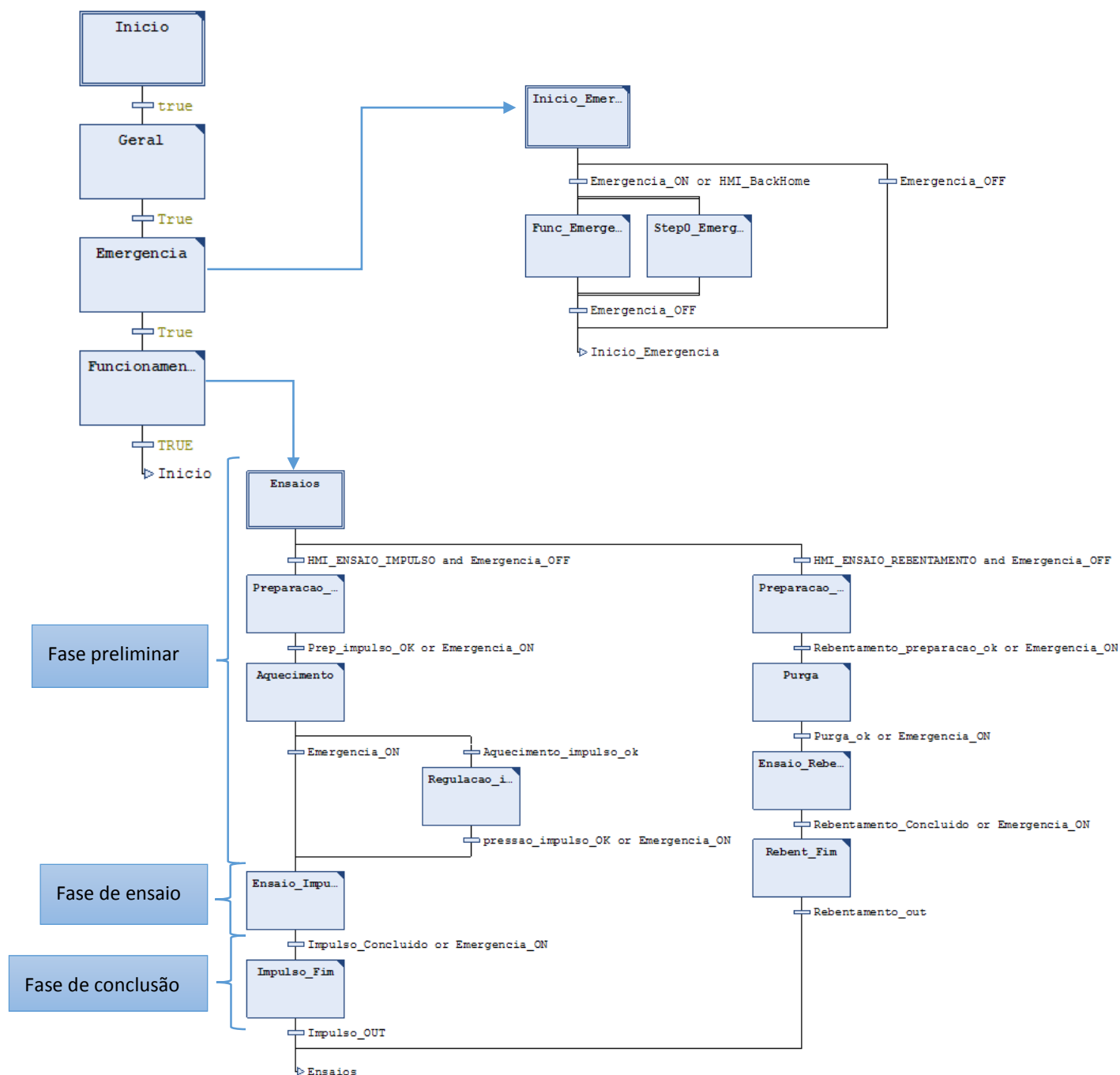


Figura 6.3 - Estrutura Geral do Programa

A etapa “Início” não realiza qualquer tarefa sendo meramente indicativa.

A etapa “Geral” é responsável por ações essenciais para a máquina como:

- o controlo da temperatura do reservatório principal,
- a sincronização do relógio da máquina,
- a monitorização dos filtros,
- a monitorização dos níveis dos reservatórios,
- a monitorização da temperatura da câmara de ensaio,
- a monitorização de outros sensores como detetores de fim de curso, de pressostatos que indiquem o mau funcionamento ou a utilização indevida de algum equipamento. Estas monitorizações irão ativar a etapa de emergência.

A etapa “Emergência” executa um *grafcet* responsável pelas ações de emergência. Aqui são também realizadas as funções de reinicialização necessárias quando se prime na *HMI* o botão de voltar ao menu inicial. A emergência pode ser acionada pelo utilizador, pressionando o botão de emergência, ou automaticamente, desatuando o relé de alimentação das linhas de atuações.

Na etapa de emergência também é executado o rearme (*Reset*) a todas as atuações, garantindo assim que quando a emergência é desativada, a banca retorna a um estado controlado. Na *HMI* também é visualizado o estado de emergência, e quando desatuado, volta para o painel inicial.

A etapa “Funcionamento” executa uma sub-rotina responsável pela execução dos ensaios.

6.2.2 Programação do “Ensaio de Impulso”

A programação do ensaio de impulso dividiu-se em três fases:

- a fase preliminar,
- a fase de ensaio,
- a fase de conclusão do ensaio.

Paralelamente existem as tarefas de registo e visualização gráfica.

A fase preliminar prepara a banca para realizar o ensaio, arrancando os motores, ligando a resistência de aquecimento até estabilizar a temperatura e atuando as válvulas necessárias. Também são configurados os parâmetros do ensaio, a partir da *HMI*. É confirmada a execução do ensaio e são introduzidos os parâmetros de uma configuração predefinida que o utilizador pode alterar.

Os parâmetros previstos são:

- a pressão de teste,
- a temperatura de ensaio,
- o número de ciclos,
- a frequência e o *duty cycle* da onda quadrática.

A seguir são enunciados alguns casos de programação essenciais para a execução do ensaio.

Geração do impulso

Recorreu-se a um “bloco de função” *Blink* que gera um impulso booleano onde é possível estabelecer o tempo em que o sinal fica a “1” e a “0”. Estes parâmetros são calculados através da frequência e do *duty cycle* selecionados. O número de impulsos é calculado a partir de um bloco incremental, enviando um sinal booleano “n_ciclos_atingido” para terminar o ensaio quando o número de impulsos definido é atingido.

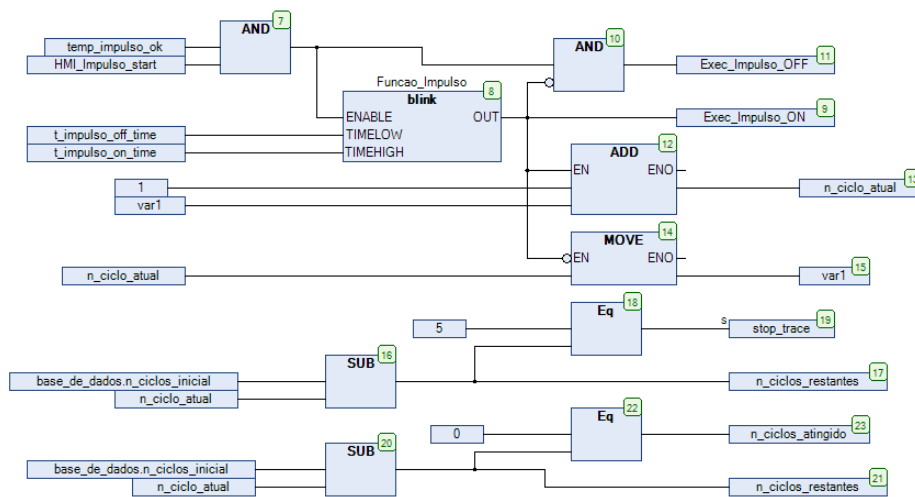


Figura 6.4 - Geração do Impulso e Contagem dos ciclos

O sinal gerado tem assim a forma de uma onda quadrada, base de funcionamento do ensaio de impulso para a sequenciação da abertura e fecho das válvulas EV1 EV2 e EV5. No entanto não é possível comandar as válvulas a partir do sinal gerado, devido ao tempo de atraso na atuação das válvulas, sendo então necessário compensar a partir dos tempos obtidos experimentalmente. As figuras 6.5 e 6.6 mostram a implementação da forma de cálculo dos tempos de ciclo, e a forma como é introduzida a ação compensatória para o funcionamento correto das válvulas.

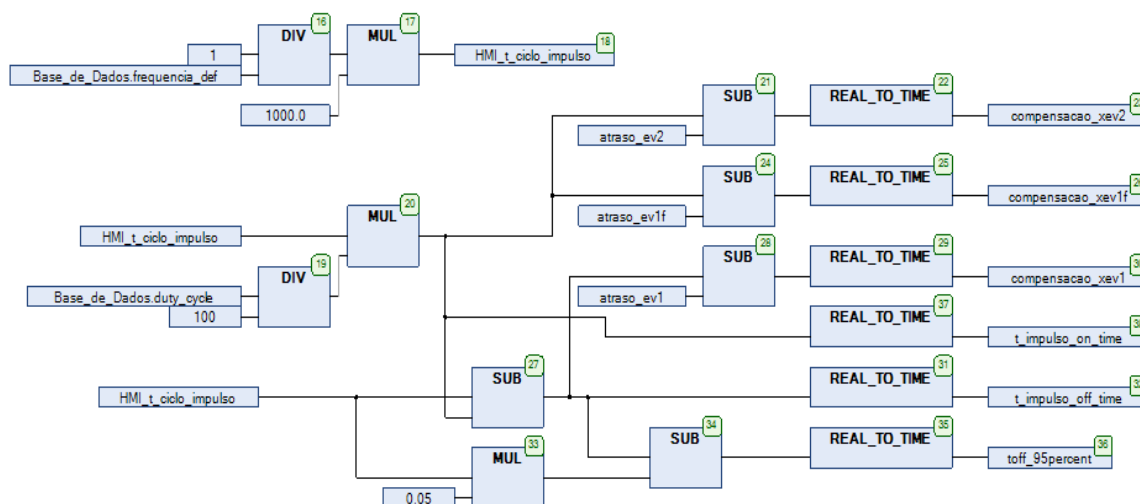


Figura 6.5 - Cálculo dos tempos de atuação de EV1, EV2 e EV5

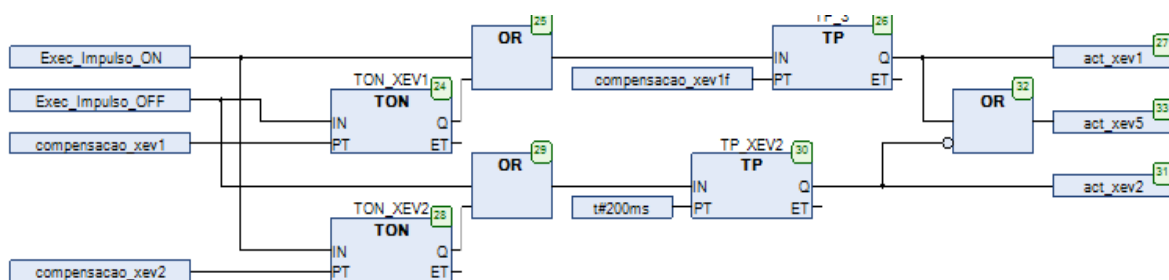


Figura 6.6 - Ordem de Comando de EV1, EV2 e EV5

Regulação da pressão de impulso

A regulação da pressão de impulso ocorre em duas fases:

- na preparação do ensaio
- no decorrer do ensaio.

Na preparação do início do ensaio as válvulas EV1 e EV5 são atuadas. A pressão é então monitorizada por um bloco alarme de limites. Neste bloco é possível introduzir um sinal analógico e definir um limite inferior e um superior, ativando uma das 3 saídas booleanas.

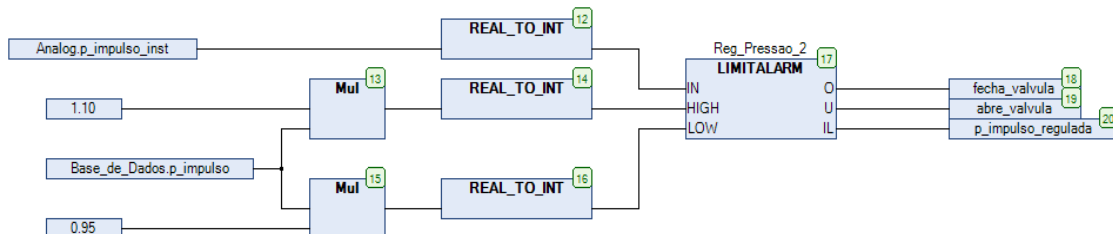


Figura 6.7 - Regulação da pressão no início do ensaio

Durante o ensaio, a pressão é registada quando o ciclo se encontra a 35% sendo introduzida num outro alarme. Enquanto a pressão estiver fora dos limites estabelecidos, o bloco envia o sinal “abre_valvula” ou “fecha_valvula”.

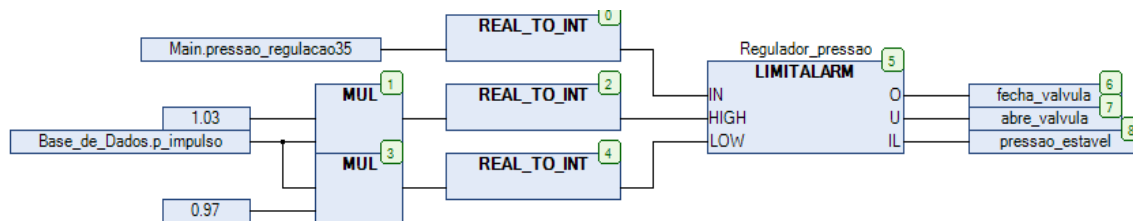


Figura 6.8 - Regulação da pressão durante o ensaio

Um bloco rampa, auxiliado por temporizadores, seletores e outros elementos lógicos, aumenta ou diminui o valor de comando da válvula proporcional. Quando a pressão se encontra dentro dos limites, o bloco rampa pára, retornando com o valor anterior quando é ativo.

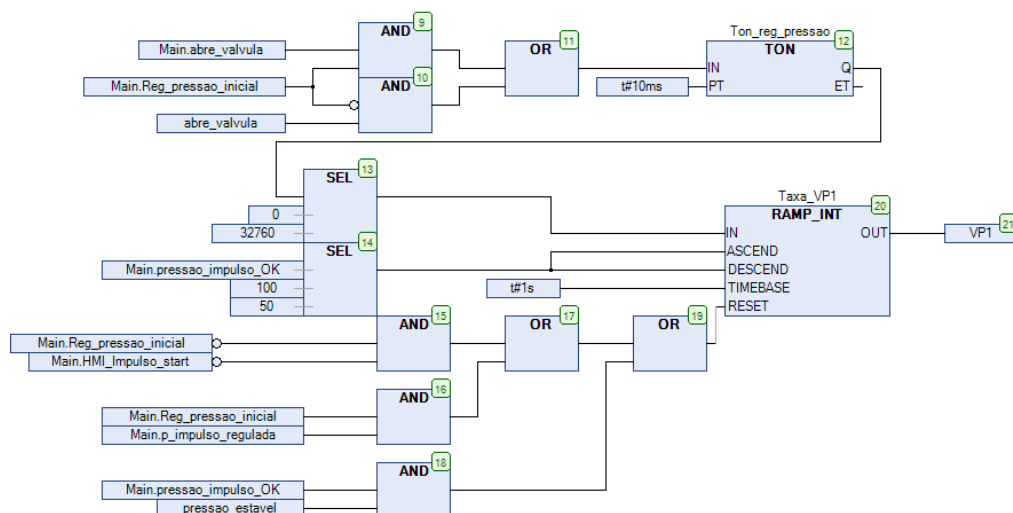


Figura 6.9 - Comando da válvula limitadora de pressão proporcional

Visualização gráfica da curva de impulso na consola.

A comunicação entre a consola e o autómato não permite a visualização gráfica dinâmica, em tempo real, da curva de impulso. A consola consegue traçar pontos constituídos por duas coordenadas, x e y, com uma taxa de aquisição de 7 Hz, correspondendo a 6/7 pontos por segundo. A normalização exige uma taxa de atualização superior a 250Hz.

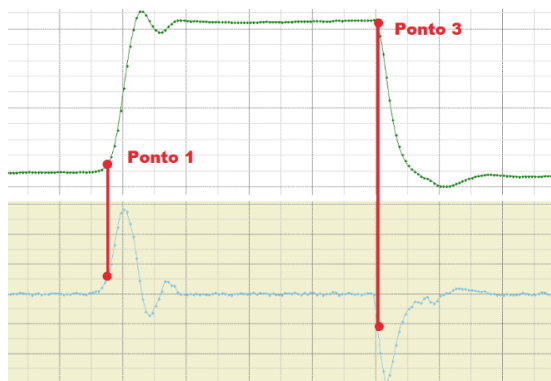


Figura 6.11- Aproximação por segmentos de reta da curva de impulso

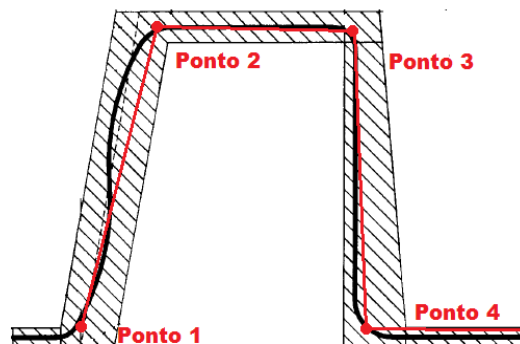


Figura 6.10 - Curva de Impulso e respetiva derivada

Convém sempre existir uma referência na consola para o operador acompanhar o ensaio sem ter um computador consigo. Como a característica da curva tem por base uma onda quadrada (figura 6.10) a solução encontrada foi a aproximação das linhas formadas por segmentos de reta entre pontos. Determinaram-se as coordenadas exatas dos pontos, através da derivada instantânea da curva de pressão, garantindo assim uma visualização simplificada da característica da curva de pressão. Na figura 6.11 está representada a curva de pressão e a respetiva derivada com os valores atingidos para determinação dos pontos fundamentais.

A determinação dos pontos ocorre com auxílio a uma variável i que serve de contador e um vetor denominado por “vec” de 10 elementos.

Tabela 6.2 - Cálculo dos pontos para os segmentos de reta

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Condições	$\frac{dp}{dt}p > 200$	$p(t) \geq p_{teste}$	$\frac{dp}{dt}p < -200$	$p(t) \leq 10$
	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$
Ações	$vec[1] = p(t)$	$vec[3] = p(t)$	$vec[5] = p(t)$	$vec[7] = p(t)$
	$vec[2] = t$	$vec[4] = t$	$vec[6] = t$	$vec[8] = t$
	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 1$

Adicionou-se mais um ponto a determinar a 80% do tempo de ciclo para se obter uma reta na parte inferior. Este ponto é representado a -20% e a 80%.

Os limites superiores e inferiores também são armazenados em vetores e desenhados no gráfico. No entanto, como o valor do eixo *xx* se encontra em porcentagem, os limites não precisam de ser constantemente atualizados reduzindo assim o tempo de aquisição de dados.

Visualização gráfica da curva de impulso na página de relatório.

A visualização gráfica exata ocorre na página do relatório de ensaio. Aqui a pressão é monitorizada com uma taxa de aquisição de 250Hz, uma amostra de 4 em 4ms. É igualmente necessário que a curva seja acompanhada pelos limites inferior e superior descritos na normalização e representados na figura 6.12.

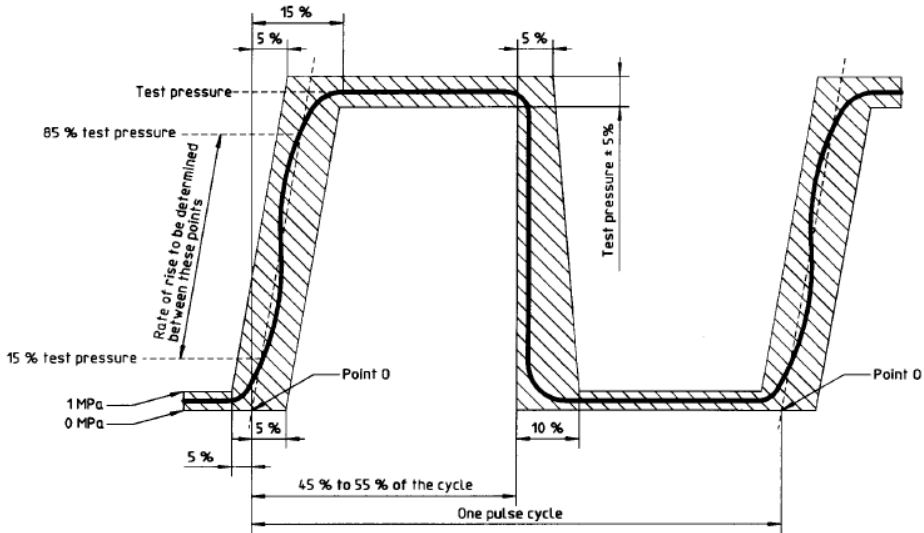


Figura 6.12 - Limites para a curva de impulso estabelecidos pela normalização

Com o tempo de atraso de abertura das válvulas compensado, os limites podem ser gerados a partir do começo de um novo impulso. Observando os limites, verifica-se que o seu comportamento é um sinal analógico que alterna entre dois valores com duas rampas, uma de subida e outra de descida.

Parâmetros da rampa do limite superior.

- Valor mínimo: 10 bar
- Valor máximo: 105% da pressão de ensaio
- Taxa de subida $= \frac{1.05 \times p_{ensaio} - 10}{0.1 \times t_{ciclo}} \left(\frac{bar}{s} \right)$
- Taxa de descida $= \frac{10 - 1.05 \times p_{ensaio}}{0.05 \times t_{ciclo}} \left(\frac{bar}{s} \right)$

Parâmetros da rampa do limite inferior.

- Valor mínimo: 0 bar
- Valor máximo: 95% da pressão de ensaio
- Taxa de subida $= \frac{0.95 \times p_{ensaio} - 10}{0.1 \times t_{ciclo}} \left(\frac{bar}{s} \right)$
- Taxa de descida $= \frac{10 - 0.95 \times p_{ensaio}}{0.05 \times t_{ciclo}} \left(\frac{bar}{s} \right)$

A implementação no programa encontra-se na figura 6.13.

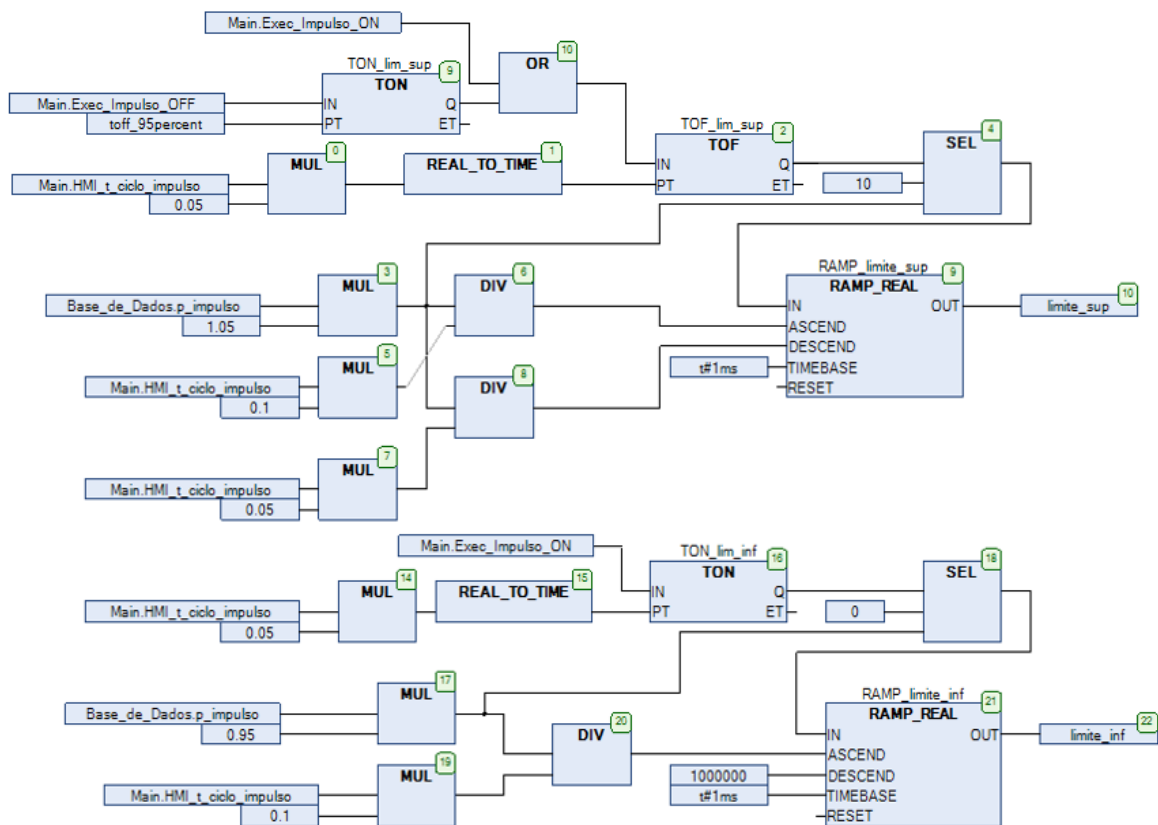


Figura 6.13 - Cálculo dos limites para a curva de impulso

Regulação do caudal

A regulação do caudal tem um efeito direto na taxa de subida da pressão, aspeto fundamental para a máquina cumprir os requisitos específicos da norma.

Inicialmente a válvula estranguladora proporcional seria colocada em derivação ao reservatório, substituindo o estrangulador existente. No entanto, a existência de uma válvula fluxométrica proporcional torna mais adequado que a regulação seja feita em linha com multiplicador.

Perante esta situação, a solução encontrada foi a substituição do estrangulador por uma válvula reguladora de caudal manual montada em paralelo com a válvula estranguladora proporcional.

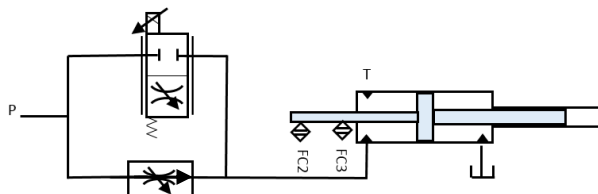


Figura 6.14 - Montagem apropriada para a válvula estranguladora proporcional

Deste modo, o estrangulador manual assegura um caudal ajustado por defeito e a válvula proporcional assegura o caudal complementar, sendo a regulação do caudal assim realizada de maior rigor e, portanto, a taxa de evolução da pressão que deve estar facilmente contida dentro dos limites superior e inferior da normalização.

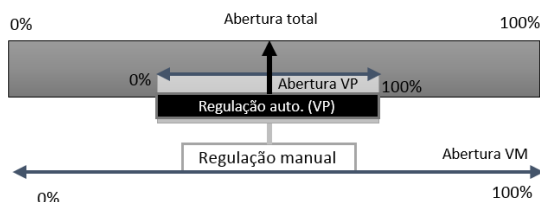


Figura 6.15 - Modelo da regulação de caudal

Estabeleceram-se, assim, limites mais estreitos para a regulação do caudal conforme a figura 6.16 onde os limites de referência da norma se encontram a vermelho e os limites impostos para a regulação do caudal a azul.

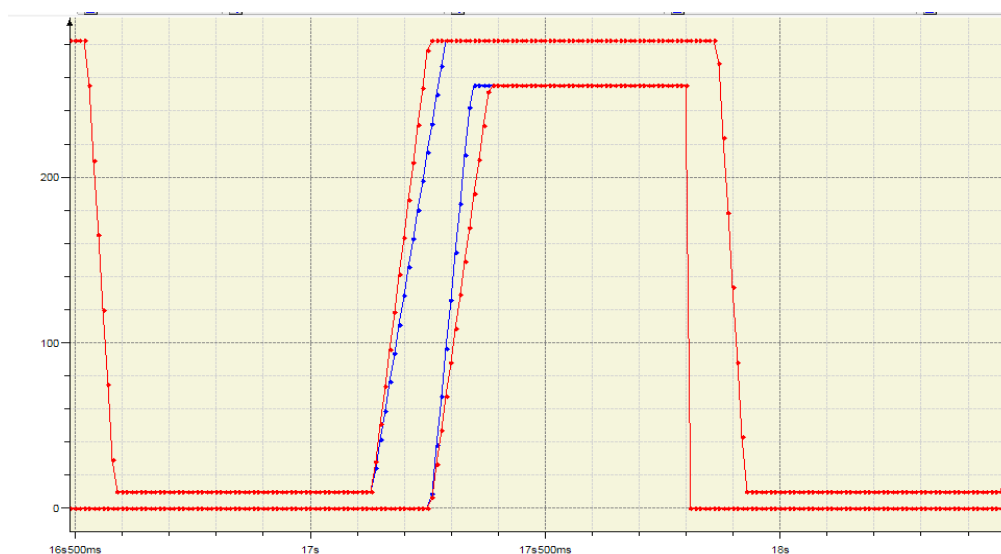


Figura 6.16 - Resultado dos limites programados

Na figura 6.17 encontra-se o *trigger* “*leitura_caudal*” que indica o momento em que deve ser analisado se a curva de pressão está dentro ou fora dos limites.

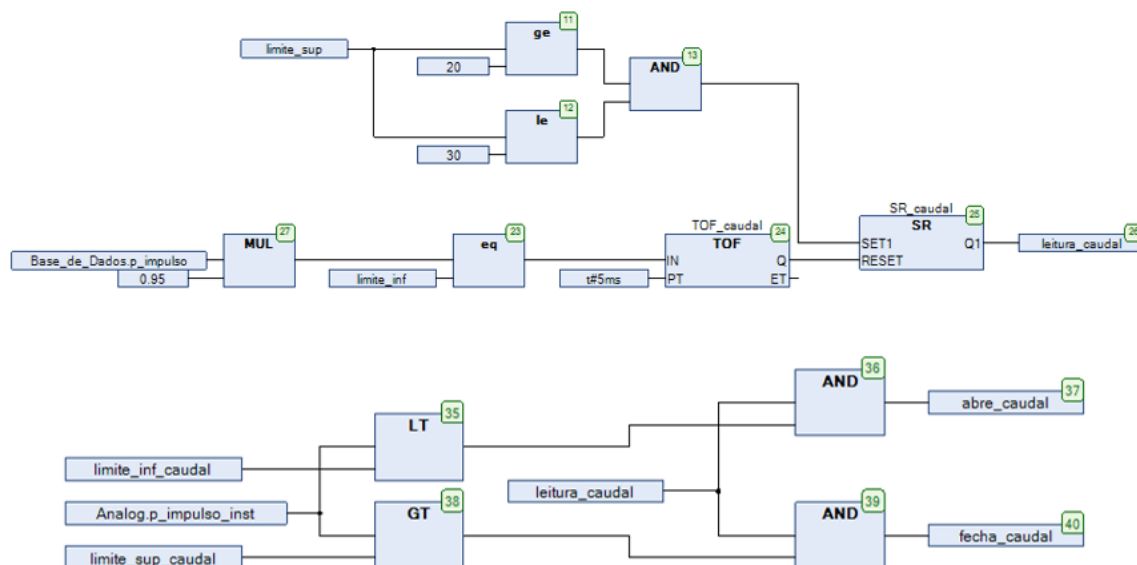


Figura 6.17 - Metodologia para verificação da rampa de pressão

Assim, sempre que a curva de pressão sobreponha um dos limites é ativa uma das variáveis “*abre_caudal*” ou “*fecha_caudal*”, num programa em funcionamento em paralelo (figura 6.18), a ordem fica ativa durante 1 seg., para que o incremento ou decremento do valor de comando da válvula seja significativo.

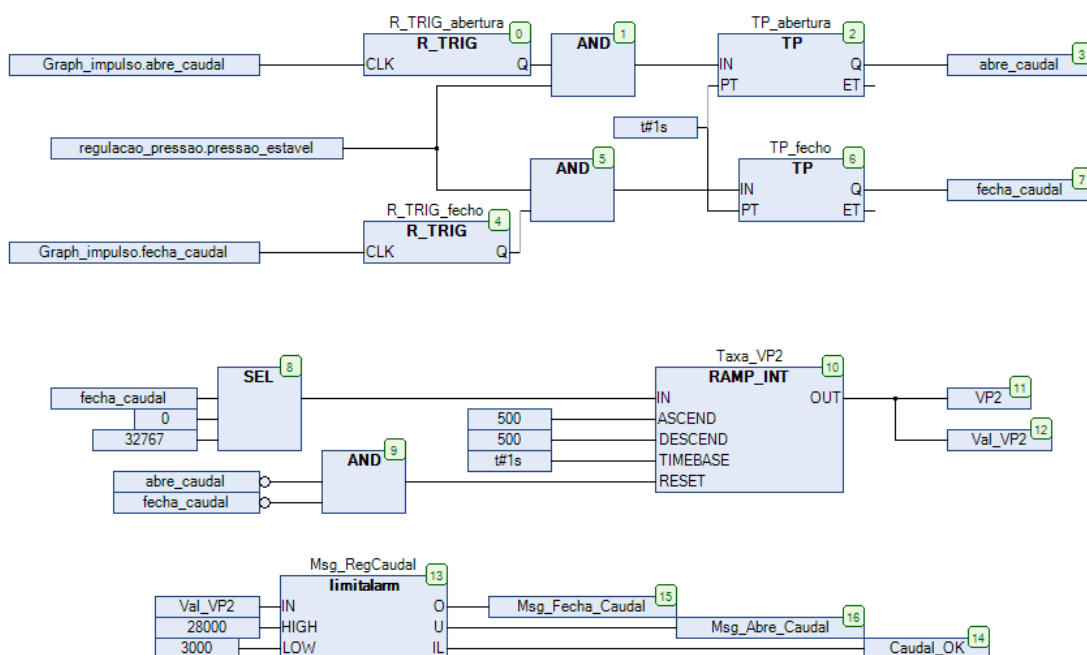


Figura 6.18- Comando da válvula estranguladora proporcional

Sempre que o valor de comando seja obrigado a ser inferior a 3000 ($\cong 10\%$) ou superior a 28000 ($\cong 85\%$), é enviado um sinal para a HMI para apresentar uma mensagem ao operador para abrir ou fechar a válvula reguladora de caudal de ajuste manual.

Na fase de conclusão de ensaio, é gerado um relatório de ensaio e descarregada toda a informação do ensaio para a memória auxiliar e para o servidor por FTP. São desligados os motores e a resistência de aquecimento, as válvulas voltam à posição inicial. Fica a máquina pronta para outro ensaio.

6.2.3 Programação do “ensaio de rebentamento”

O ensaio de rebentamento foi programado em 4 etapas: preparação, purga, ensaio e finalização.

Na primeira etapa, a preparação, não é realizada qualquer ação de comando. O sistema é preparado para a introdução manual ou automática dos parâmetros de ensaio. Manualmente o operador especifica o nome do provete, a pressão mínima de rebentamento, e o tempo previsto até a atingir.

Na segunda etapa, a purga, é realizado um processo semiautomático onde o operador inicia a ação de purga e o multiplicador de baixa pressão entra em funcionamento a 30 bar. Quando o operador verifica que já não existe ar a ser libertado do interior da mangueira, aperta definitivamente o acessório de ligação e confirma a execução da purga.

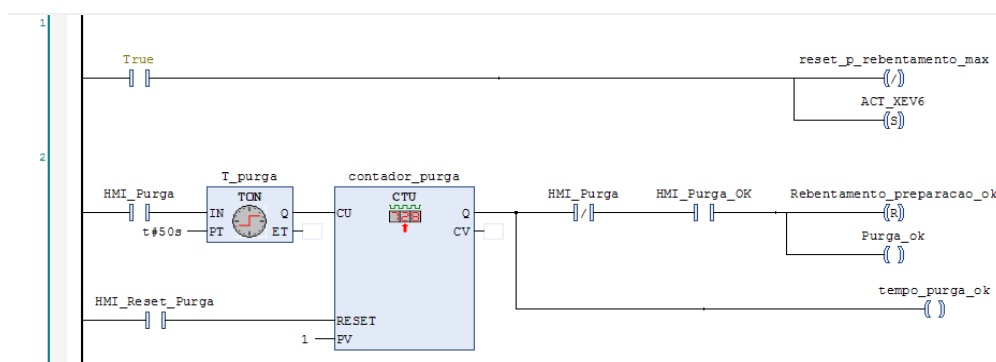


Figura 6.19 - Etapa de Purga

Após a purga concluída, é ativada a fase de ensaio onde o autómato vai aumentar gradualmente o sinal de controlo das válvulas proporcionais para atingir a pressão de rebentamento estimada no tempo desejado.

Quando se atingir a pressão mínima de rebentamento, mantém-se a pressão por 60 segundos de modo a fazer a verificação à pressão mínima.

Como existem algumas fugas nos componentes da banca, muito mais sentidas a alta pressão, o programa realiza a reposição da pressão caso esta desça para valores inferiores à pressão especificada. Caso sejam realizados mais que 5 ciclos de reposição o ensaio termina sem sucesso, por apresentar fugas.

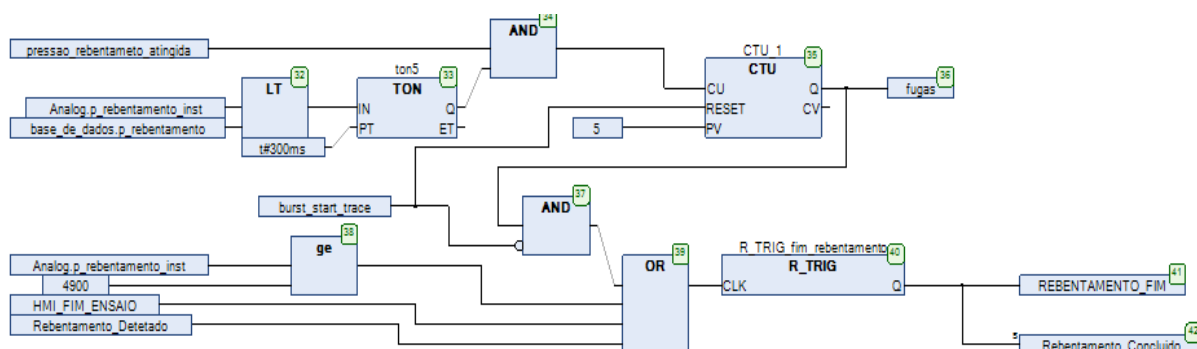


Figura 6.20- Metodologia para deteção de fugas

Quando ultrapassar os 60 segundos de verificação, o operador é questionado se quer ou não continuar o ensaio até se verificar a cedência.

Durante todo o ensaio identifica-se o rebentamento da mangueira quando é detetada uma queda abrupta da pressão para valores inferiores a 40bar.

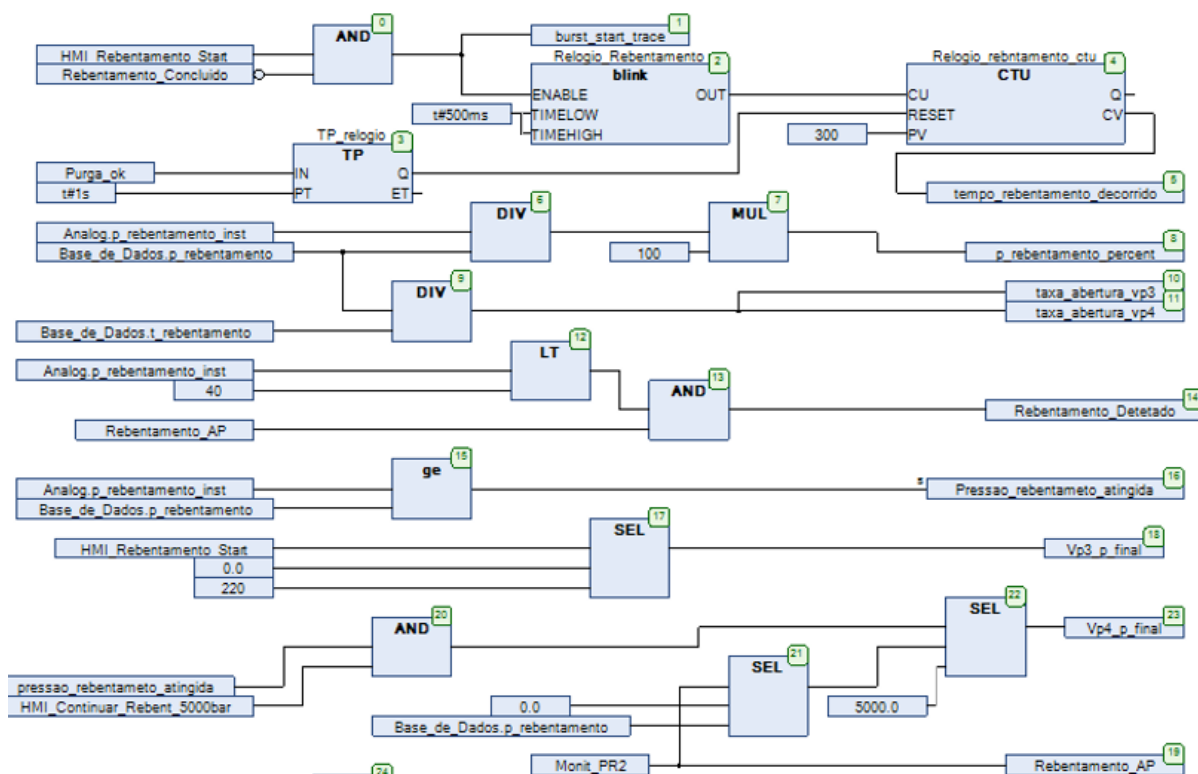


Figura 6.21 - Processamento das variáveis para o ensaio de rebentamento

Os valores objetivos e taxa de subida das rampas definidos na etapa de ensaio são enviados para um outro programa onde existe o comando das válvulas proporcionais. Para o multiplicador de baixa pressão, durante a purga é induzido uma pressão de 30 bar. Durante o ensaio o valor é definido pela rampa de ensaio.

No multiplicador de alta pressão é preciso atender ao facto de necessitar de uma pré compressão, assinalada pelo pressostato PR2 que ativa a variável “Rebentamento_AP” e também necessita de uma pressão pneumática mínima de funcionamento de cerca de 2,5 bar, correspondendo a uma pressão limite à saída de cerca de 2250 bar. Para garantir o seu funcionamento, atribuiu-se como mínimo de sinal 2500bar.

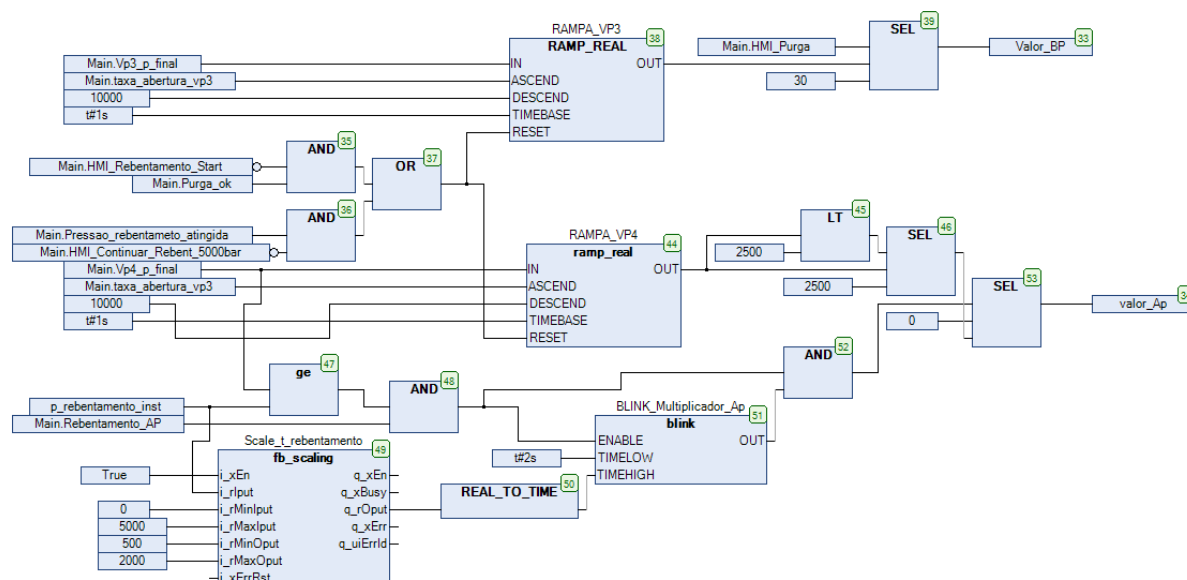


Figura 6.22- Comando das válvulas reguladoras de pressão pneumáticas

A pressão mínima de funcionamento leva a que a pressão de ensaio suba de forma abrupta e descontrolada. Para resolver o problema aplicou-se um controlo, de forma a obter uma subida gradual da pressão. Para a obtenção de em intervalos de 100 em 100 bar, a duração do impulso, deve variar entre 500ms a 2s consoante a taxa de subida de pressão.

O registo da pressão máxima é assegurado pela lógica representada na figura 6.24, sendo a variável “reset_p_rebentamento_max!” responsável pelo reinício da monitorização.

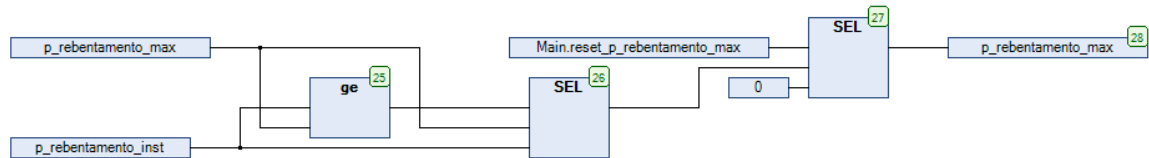


Figura 6.23- Registo da pressão máxima

6.3 Programação da HMI

A interface Homem-Máquina possui uma diagonal de 10 polegadas, com o propósito de ser possível uma adequada visualização de todos os parâmetros e funcionamento da banca. Embora a máquina regule automaticamente os parâmetros, o operador deve acompanhar o ensaio e, caso algum parâmetro esteja mal controlado, pode regular manualmente.

Painel Inicial:





O Painel Inicial “G” aparece automaticamente quando se liga a banca, e permite ao operador escolher o ensaio que pretende realizar. Também é possível aceder a outros menus de monitorização da máquina.



Figura 6.24- Painel Inicial HMI

Além dos botões de seleção para as diversas funções, existem botões gráficos com funções especiais.

Tabela 6.3 - Botões Especiais HMI

	Ligar a Iluminação	Permite ligar a iluminação, permanecendo acesa durante o tempo estipulado no painel M6.1
	Voltar	Regressa ao painel anterior. Em alguns painéis este botão não existe por implicar o mau funcionamento do equipamento. Nestes casos deve-se usar o botão “Back Home”
	Back Home	Permite o regresso rápido ao menu inicial. Ao premir este botão, toda a estrutura do programa implementado no autómato retorna ao estado inicial.
	Emergência	Paragem do autómato e do programa na consola. A alimentação de potência é desativada e abre uma janela de aviso a indicar o estado de emergência.

Emergência

A função de emergência entra em atividade caso se verifique um evento grave que comprometa a integridade do equipamento, desafie a segurança das pessoas ou caso a botoneira de emergência seja atuada. É publicada na consola uma janela de aviso com a indicação do problema. Quando o evento que provocou a emergência voltar ao estado normal, é possível desativar a emergência através de um botão que aparece na janela de aviso.



Figura 6.25 - Aviso de Emergência

Ensaio de Impulso

Para realizar um ensaio de impulso deve-se selecionar no painel inicial “G”: “Ensaio Impulso” e no painel I1 selecionar “Novo Ensaio”. Caso se pretenda continuar um ensaio realizado anteriormente deve-se premir o botão “ Retomar Ensaio”, retomando assim um ensaio que tenha sido previamente parado, por exemplo numa interrupção de energia. Neste caso os parâmetros anteriores são mantidos e são inalteráveis. (figura n.º6.27)

O painel seguinte I2 é introdutório, lista os parâmetros que podem ser alterados e encontra-se dividido nos seguintes painéis:

- I3- Modo Automático- A seleção da mangueira é feita através de uma lista predefinida de acordo com os produtos da Balflex. Assim o operador só tem que selecionar o modelo e o tamanho. Os dados referentes à pressão de teste, nº de ciclos e temperatura do fluido, são recolhidos da base de dados.
- I4- Modo Manual- neste modo é possível alterar os parâmetros que caracterizam um provete:
 - Descrição: caraterísticas do provete que o possam identificar e distinguir.
 - Exemplo: [marca] [modelo] [tamanho] [normalização] [outras informações]
 - Pressão: deve ser introduzida a pressão de teste recomendada pela normalização. Recorda-se que a pressão de ensaio é geralmente superior à pressão de trabalho e a unidade utilizada é “bar”.
 - Temperatura: temperatura especificada pela normalização para o ensaio. Devido ao calor gerado no funcionamento do equipamento a gama de temperatura de ensaio tem um valor mínimo de 30°C e um máximo de 120°C.
 - Nº de Ciclos: deve ser introduzido o número de ciclos de impulso a serem realizados para a validação da mangueira. Logo que seja atingido este valor o ensaio termina e o ensaio é validado.

- I5- O ensaio de Impulso permite ao operador selecionar a frequência, entre 0,75 e 1,3Hz e o período de pico ou *duty cycle*, designado na consola por *Ton*, entre 45% a 55% do tempo total. Estes valores só devem ser alterados caso a banca de ensaios não consiga cumprir os limites gráficos. Para compreender melhor este assunto consultar o capítulo “ Resultados”.
- I6- Neste menu é possível definir a tolerância de funcionamento, onde especifica os valores de temperatura que permite que o ensaio decorra. O intervalo de regulação define quando são ativadas as funções de arrefecimento ou aquecimento.

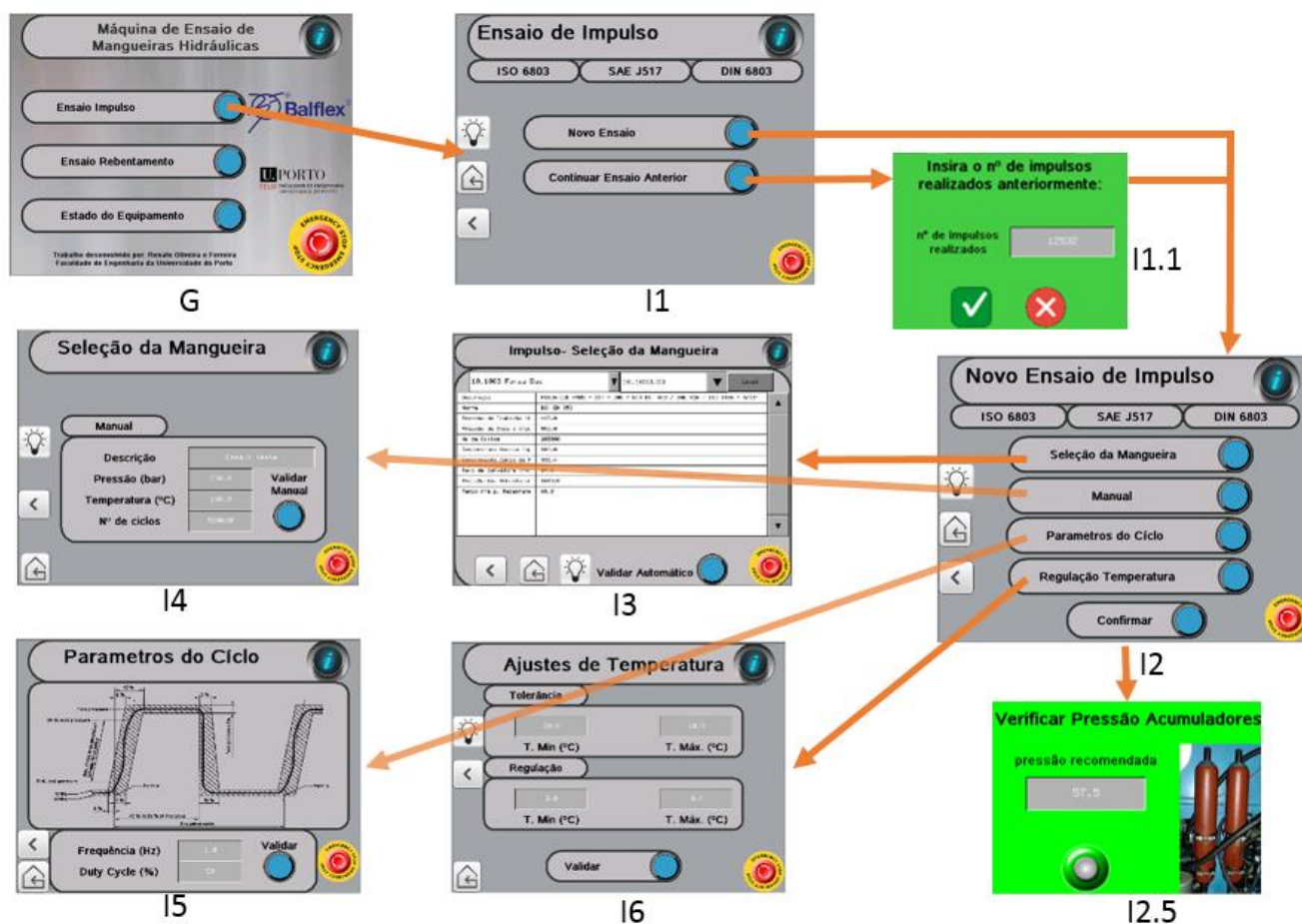


Figura 6.26 -Manual Utilização HMI- Configuração do Ensaio de Impulso

Configurados os parâmetros, é aberta uma janela com a indicação da pressão de enchimento recomendada nos acumuladores. Após a confirmação no botão verde inicia-se a fase de ensaio e o painel I3 é apresentado. O ensaio começa com o aquecimento do óleo até à temperatura especificada e, posteriormente, é efetuada a regulação da pressão. O progresso de cada processo pode ser acompanhado na consola por duas janelas I3.1 e I3.2 (figura n.º 6.28).

Quando a pressão está regulada o ensaio começa automaticamente. Pode-se acompanhar o funcionamento interno da banca premindo o botão “Funcionamento” que abre o painel M4. Quando o ensaio é concluído, é visualizado o painel I4 que fornece o resultado do teste.

O lembrete “Ensaio Guardado” aparece apenas quando na página de relatório é premido o botão “Ensaio Guardado”. Esta funcionalidade informa o operador da banca se o ensaio foi ou não guardado a partir de um computador.

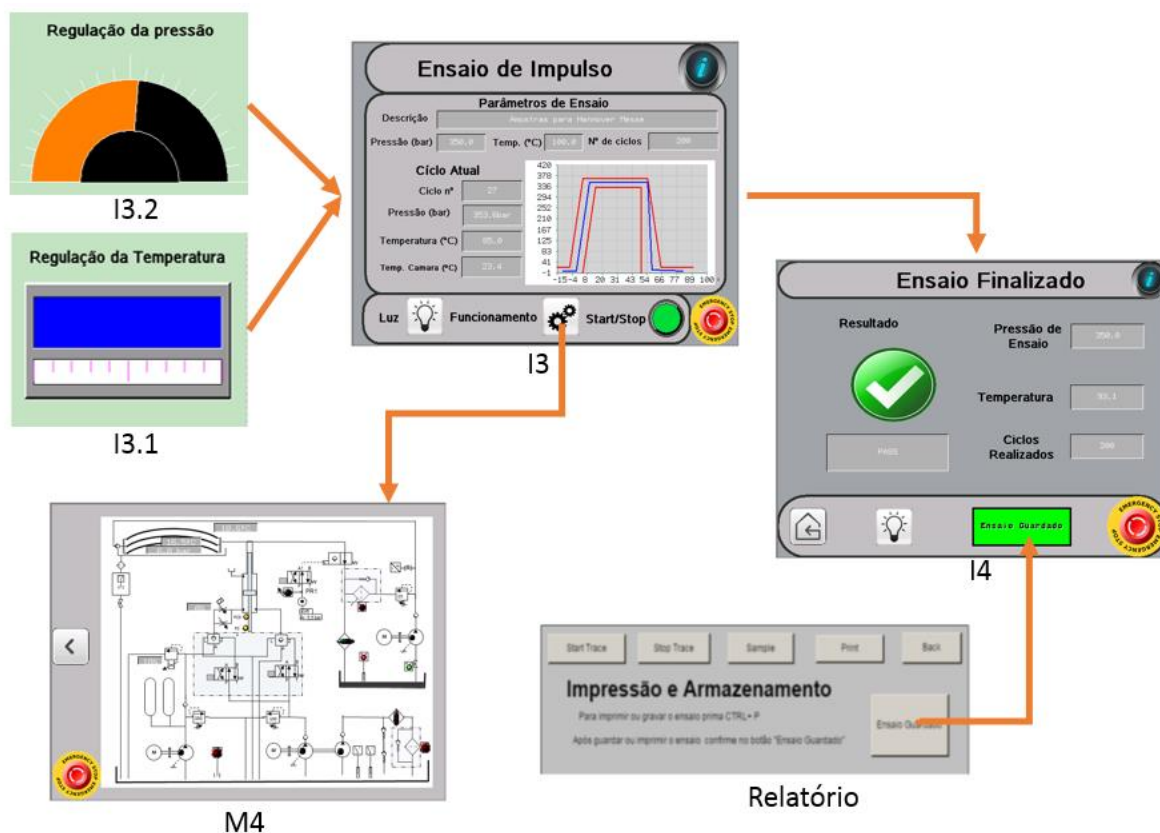


Figura 6.27 - Manual Utilização HMI - Execução Ensaio de Impulso

Ensaio de Rebentamento

Para realizar um ensaio de rebentamento deve-se no painel inicial “G” seleccionar “Ensaio de Rebentamento” que direciona para o painel R1, onde se podem introduzir os dados do provete manualmente ou a partir da base de dados “R2”. (figura n.º 6.29)

No modo manual “R3” são necessários introduzir os seguintes parâmetros:

- Descrição: características do provete que o possam identificar e distinguir.
 - Exemplo: [marca] [modelo] [tamanho] [normalização] [outras informações]
- Pressão mínima de rebentamento: valor de pressão a que será feita a verificação à pressão mínima de rebentamento, durante 60 segundos. Se atingir este valor e durante 60 segundos não existirem fugas nem rebentamento o provete passa no teste.
- Tempo até ao rebentamento: estabelece o tempo, em segundos, para a rampa de pressão, desde o início do ensaio até atingir a pressão mínima de rebentamento.

Após a confirmação dos dados do provete entra-se na fase de ensaio e é apresentado o painel R4.

O primeiro passo é a purga da mangueira. É um processo semiautomático com o seguinte procedimento:

1. Montar a mangueira adequadamente e deixar o terminal esquerdo com uma ligeira folga para permitir a saída do ar.
2. Premir o botão verde “Iniciar Purga” até se verificar a saída de óleo no terminal esquerdo.
3. Apertar o terminal com o binário adequado e esperar que a pressão atinja aproximadamente 30 bar. O barulho característico do multiplicador pneumo hidráulico para. Caso contrário existem fugas nas ligações.
4. Fechar a câmara de ensaio.
5. Premir o botão vermelho “parar purga” e confirmar no botão azul “purga OK”.

Após a purga concluída aparece o botão “Start” para dar início ao ensaio. A pressão sobe constantemente até atingir a pressão mínima de rebentamento especificada.

O botão STOP faz a paragem da rampa de pressão e o alívio da pressão. Caso se verifique alguma anomalia deve-se premir o botão para terminar o ensaio.

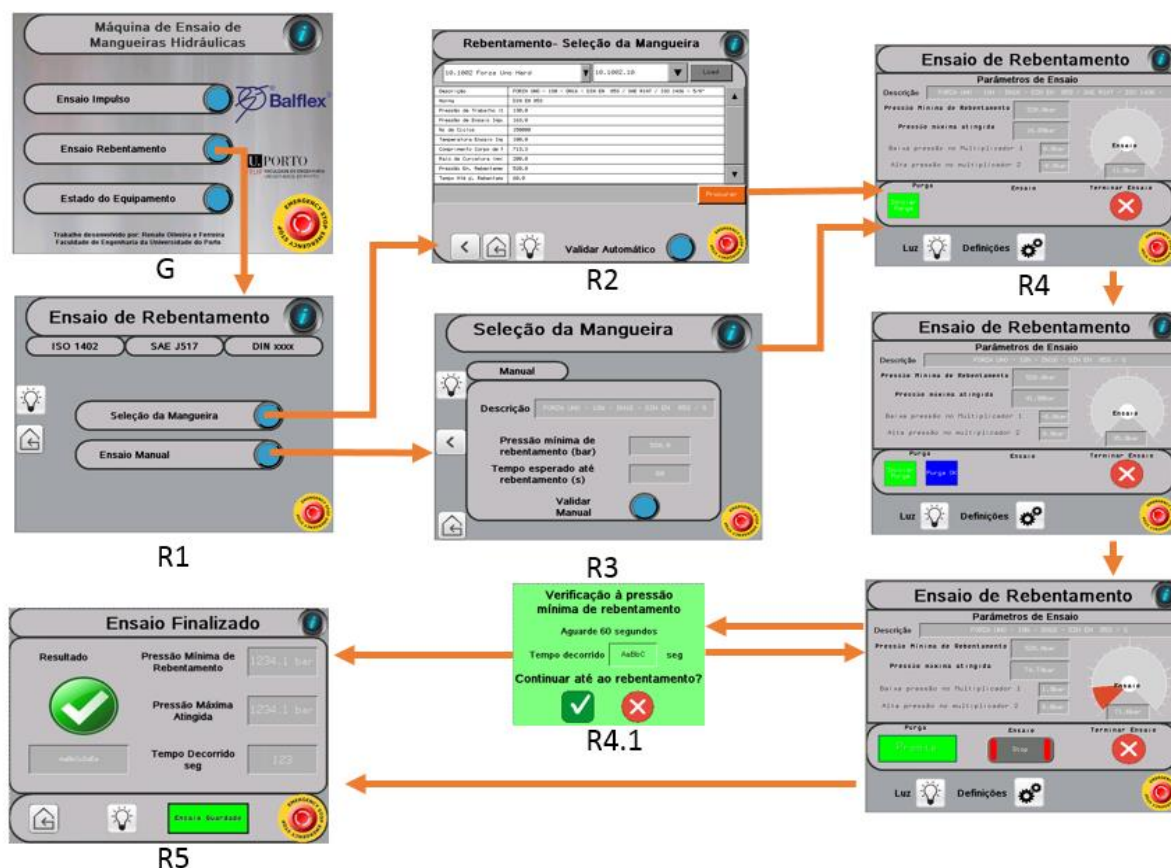


Figura 6.28 -Manual Utilização HMI- Configuração e Execução do Ensaio de Rebentamento

Quando se atingir a pressão mínima de rebentamento, aparecerá uma janela verde “R4.1” com a indicação do tempo decorrido. Após os 60 segundos aparece a mensagem “Continuar até ao rebentamento” que, em caso afirmativo, continua o ensaio com a mesma taxa de subida de pressão até se verificar o rebentamento do provete.

Quando o ensaio terminar, voluntariamente pelo operador ou pela deteção de fugas/rebentamento, o ensaio termina e aparece o painel R5 com o resultado do ensaio. O lembrete “Ensaio Guardado” aparece apenas quando na página de relatório é premido o botão “Ensaio Guardado”. Esta funcionalidade informa o operador da banca se o ensaio foi ou não guardado a partir de um computador.

Manutenção

É importante garantir que, além dos menus para seleção do ensaio, também exista um acompanhamento geral da máquina e, em caso de avaria de algum componente, seja mais fácil a sua deteção.

Neste âmbito é necessário um menu sobre o estado geral da máquina, onde é visualizada toda a informação sobre os componentes que se encontram atuados, um menu de calibração, onde permite alterar a reta de calibração dos transdutores, e duas páginas esquemáticas do circuito de impulso e de rebentamento para melhor compreensão do funcionamento da banca.

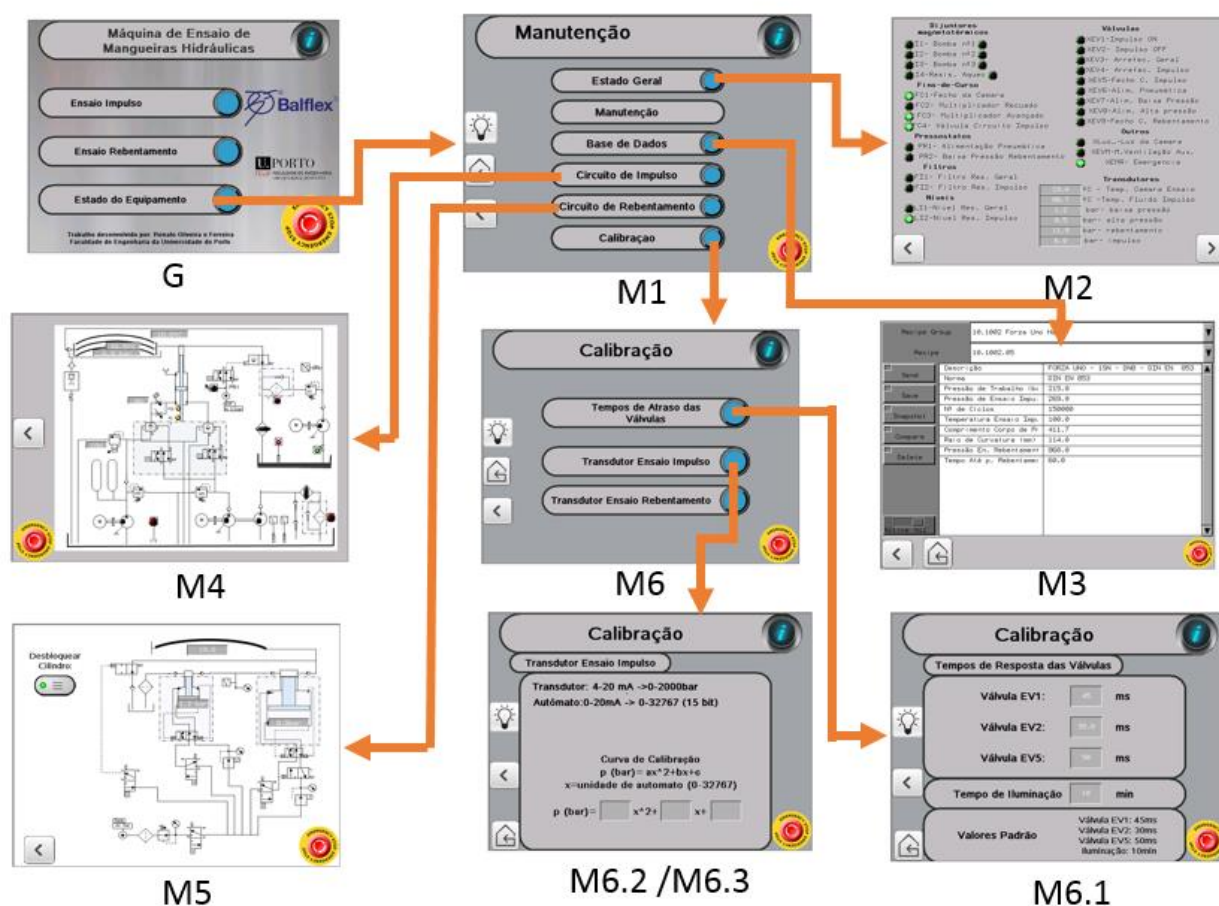


Figura 6.29 - Manual Utilização HMI - Manutenção do Equipamento

No painel inicial “G” premindo o botão “Estado do Equipamento” aparece o painel geral de manutenção M1 que dá acesso às seguintes funcionalidades:

- Estado geral M2- Permite monitorizar o estado das válvulas, bombas, filtros e outros componentes da banca de ensaios.
- Base de Dados M3- Neste painel é possível adicionar editar ou eliminar mangueiras da base de dados da Balflex.
- Monitorização do Circuito de Impulso M4 / Rebentamento M5 -Através de um esquema hidráulico e pneumático dinâmico é possível perceber o funcionamento da banca, para uma melhor utilização e deteção de problemas.

- Calibração M6- Neste modo é possível realizar alguns ajustes sem alterar o programa do autômato. Está subdividido nos seguintes painéis:
 - Tempos de atuação e iluminação 6.1- Permite alterar o tempo de compensação para o atraso na atuação das válvulas mais significativas no ensaio de impulso. Também permite ajustar o tempo de iluminação.
 - Transdutor de pressão de Impulso 6.2 / Rebentamento 6.3 - Permite alterar a curva de calibração para o transdutor de pressão. A curva a introduzir deve ser tipo quadrática, segundo a equação:

$$p(\text{bar}) = ax^2 + bx + c$$

$$x = \text{unidades de automato } (0 - 32767)$$

6.4 Comunicação

A comunicação entre o *Modicon M258* e a consola pode ser feita por diversos protocolos. Um protocolo de comunicação é um conjunto de regras definidas, necessárias para assegurar que vários elementos possam executar trocas de dados.

Um dos objetivos da requalificação é o acompanhamento, em tempo real, do ensaio através de um computador com acesso à *internet*. Por esse mesmo motivo se escolheu o protocolo *Modbus TCP/IP* que usa a rede *Ethernet*.

Para a implementação da ligação adquiriu-se um *switch* da *TP-LINK TL-SG1005D* (figura 6.32) de 5 portas e velocidade de transmissão máxima de 1000Mbit/s suficiente para a taxa máxima de transferência do autômato e da HMI, que é de 100Mbit/s. Para a conexão aos equipamentos e a rede utilizaram-se cabos de par trançado CAT6, com conetores RJ45.

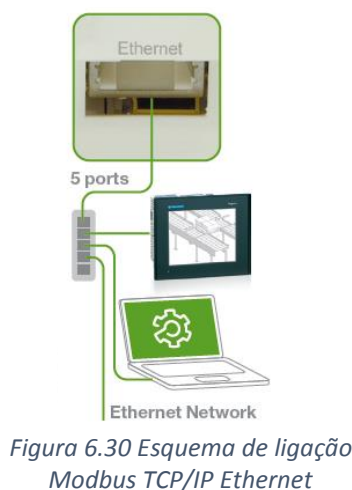


Figura 6.31 - Switch TP-LINK TL-SG1005D

Deste modo a *Ethernet* é a rede de comunicação aberta que permite a ligação das instalações da Balflex a todos os níveis, desde o escritório até às E/S de campo.

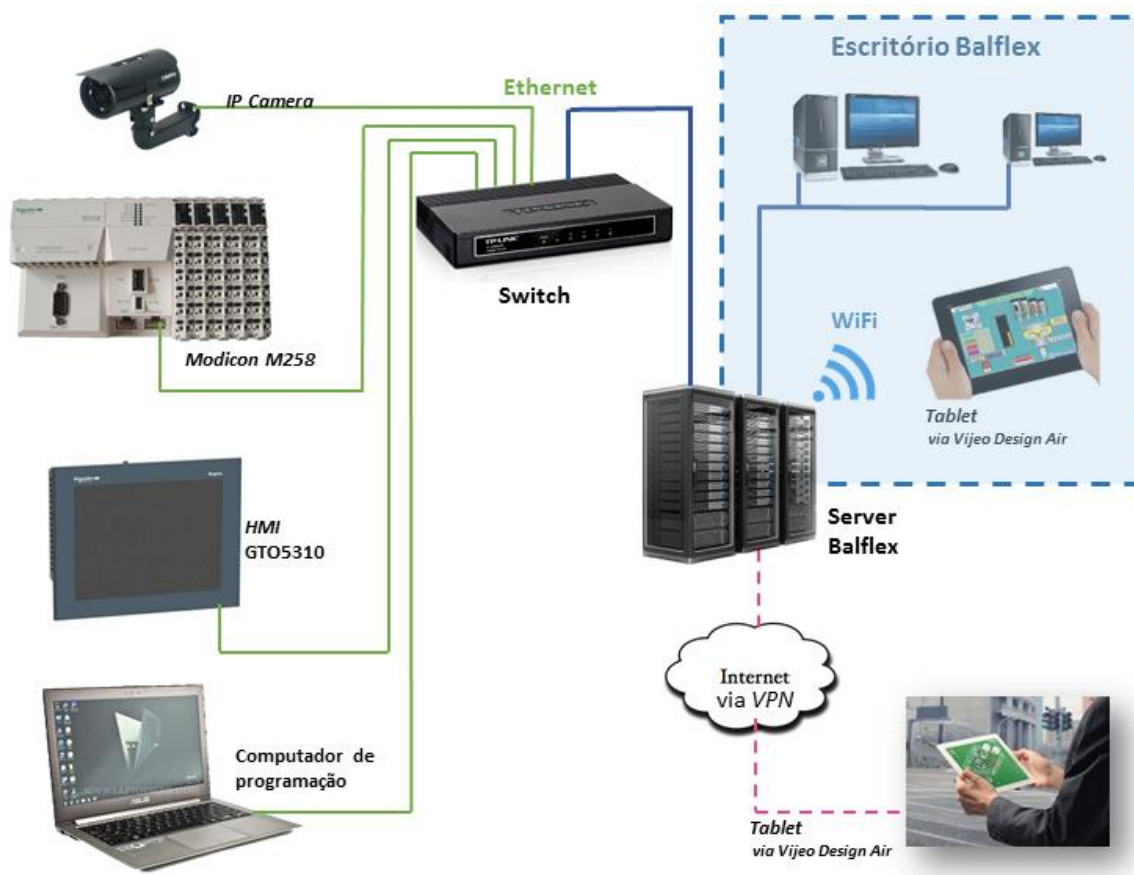


Figura 6.32- Estrutura da rede de comunicação implementada

No entanto esta configuração não permite o acesso à monitorização do equipamento fora da Balflex, em qualquer parte do mundo, conforme o requisitado. Para se resolver este problema criou-se um servidor VPN.

Um servidor VPN (*Virtual Private Network*) é uma ligação ponto a ponto entre duas redes privadas utilizando uma rede pública, tal como a Internet. Para se aceder à rede apenas é possível através do uso de credenciais atribuídas pelo departamento informático da Balflex.

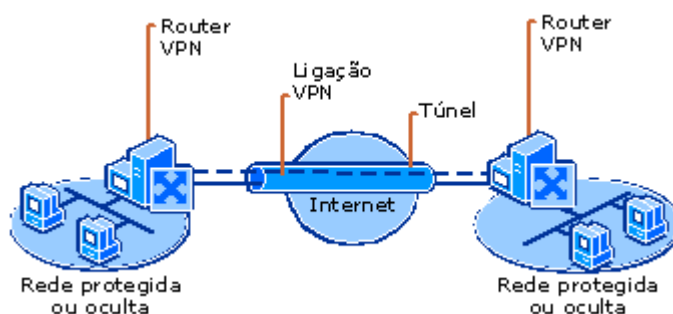


Figura 6.33 - Modelo de acesso VPN

6.5 Programação do WebServer

O autômato instalado, *Modicon M258* da *Schneider Electric*, tem um servidor Web incorporado que permite ler e gravar dados, controlar o estado do controlador, com pleno acesso a todos os dados e variáveis do programa com proteção por *password* encriptada.

É possível criar páginas web, usando o ambiente gráfico *CODESYS*. Este ambiente dispõe de blocos pré-programados onde é possível configurar as variáveis que se pretendem monitorizar ou controlar.

Esta ferramenta é fundamental para a geração dos relatórios de ensaio pois permite a visualização em tempo real dos gráficos com as curvas de pressão. A impressão dos relatórios também é fulcral, sendo aqui conseguida em qualquer computador, sem a necessidade de instalar programas próprios, apenas é necessário um *browser* como, por exemplo, o *Internet Explorer* da *Microsoft* ou o *Google Chrome*.

Para cada ensaio foram criadas 2 páginas, uma para acompanhamento do ensaio e outra com um modelo do relatório de ensaio.

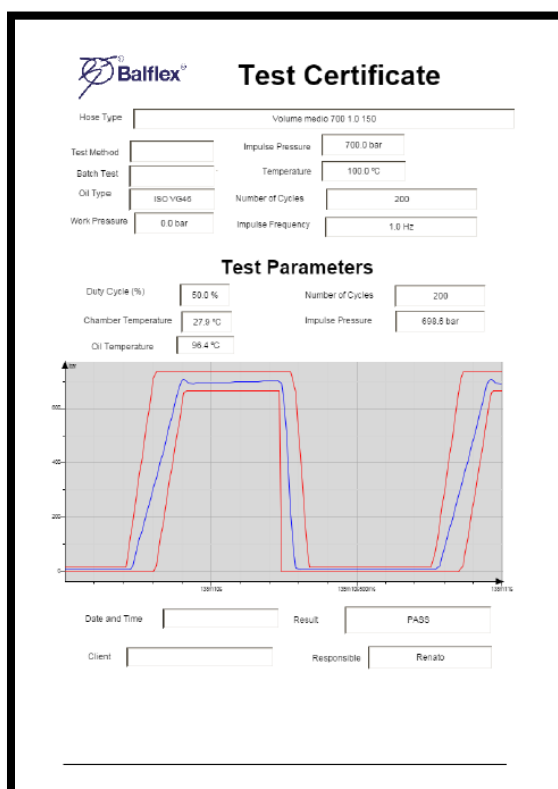


Figura 6.35 - Relatório de Impulso

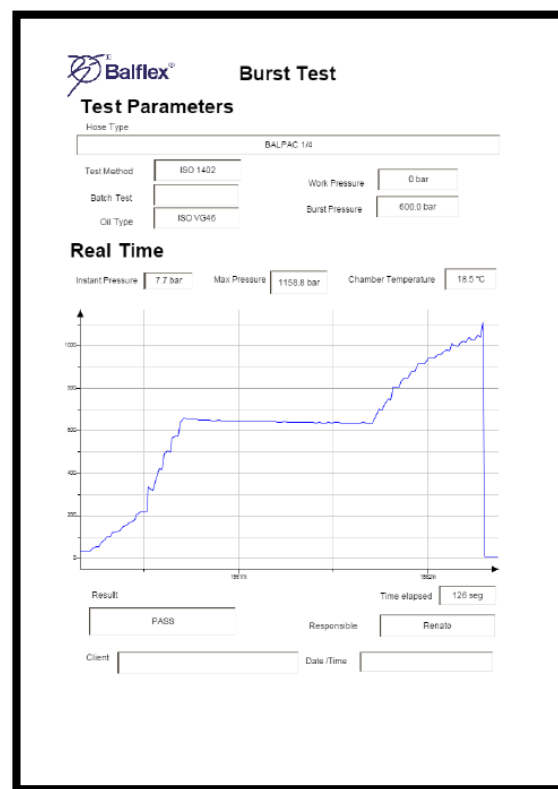


Figura 6.34 - Relatório de Rebentamento

Por segurança, em caso algum é possível operar a máquina através destas páginas.

7 Resultados

O objetivo deste capítulo é fazer a verificação e validação da máquina no cumprimento das normas referentes a cada ensaio. Procurou-se evidenciar casos em que foi necessária uma análise mais atenta ao comportamento da máquina para se fazerem ajustes no programa do autômato.

7.1 Validação do ensaio de impulso

Foi importante avaliar a banca de ensaios a baixa e alta pressão para diferentes tamanhos de mangueira porque, por um lado, quanto maior for o diâmetro nominal (área da mangueira) maior será o comprimento por precisar de um raio de curvatura maior, e ao invés, a sua pressão de ensaio será menor, provocando menor expansão volumétrica.

Para avaliar o comportamento da banca de ensaios realizaram-se ensaios a diferentes provetes de volumes diferentes procurando para cada um deles determinar a pressão e frequência limites de ensaio.

7.1.1 Ensaio 1: Baixo volume

Neste ensaio, utilizou-se como provete uma mangueira de ¼" com 300mm de comprimento- Volume aproximado de 8,4cm³.

Tabela 7.1- Ensaio 1: Baixo Volume, 150bar 0,8Hz

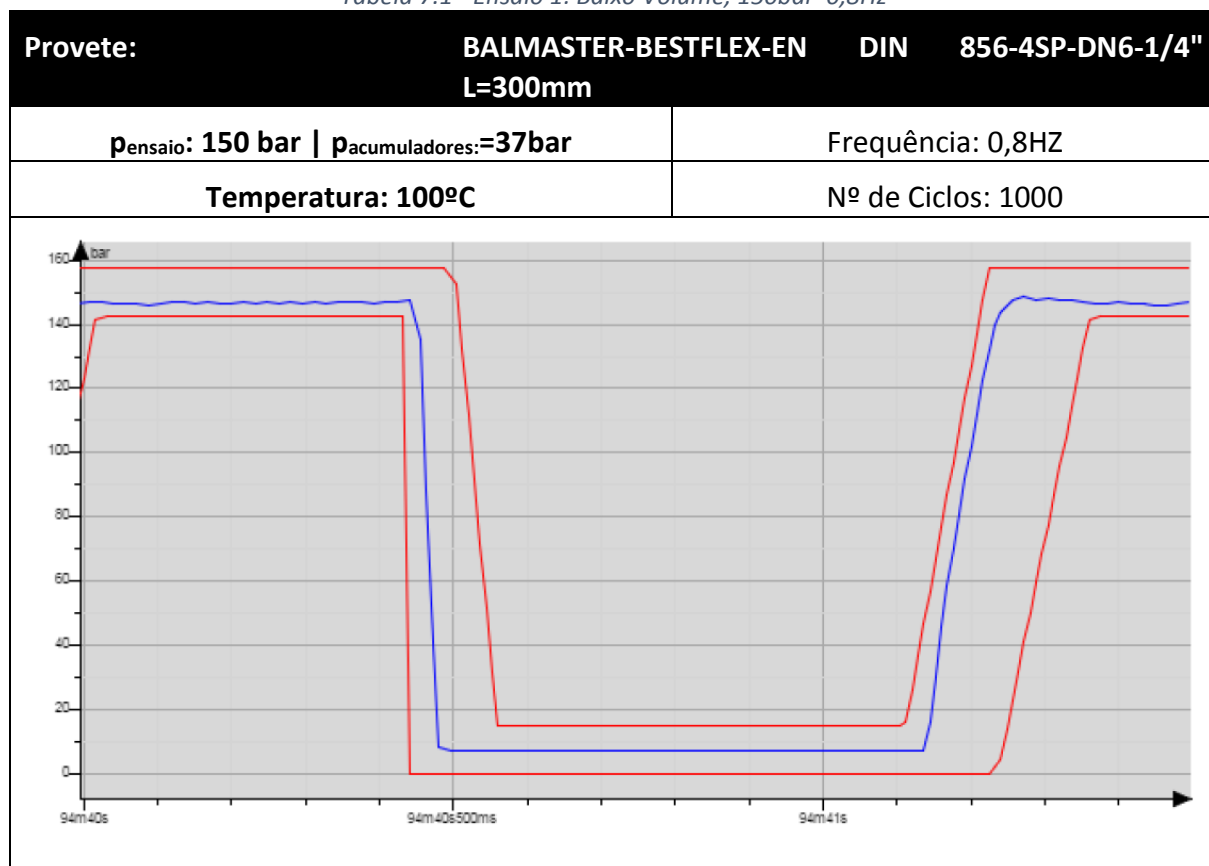


Tabela 7.2- Ensaio 1: Baixo Volume, 150bar, 1,2Hz

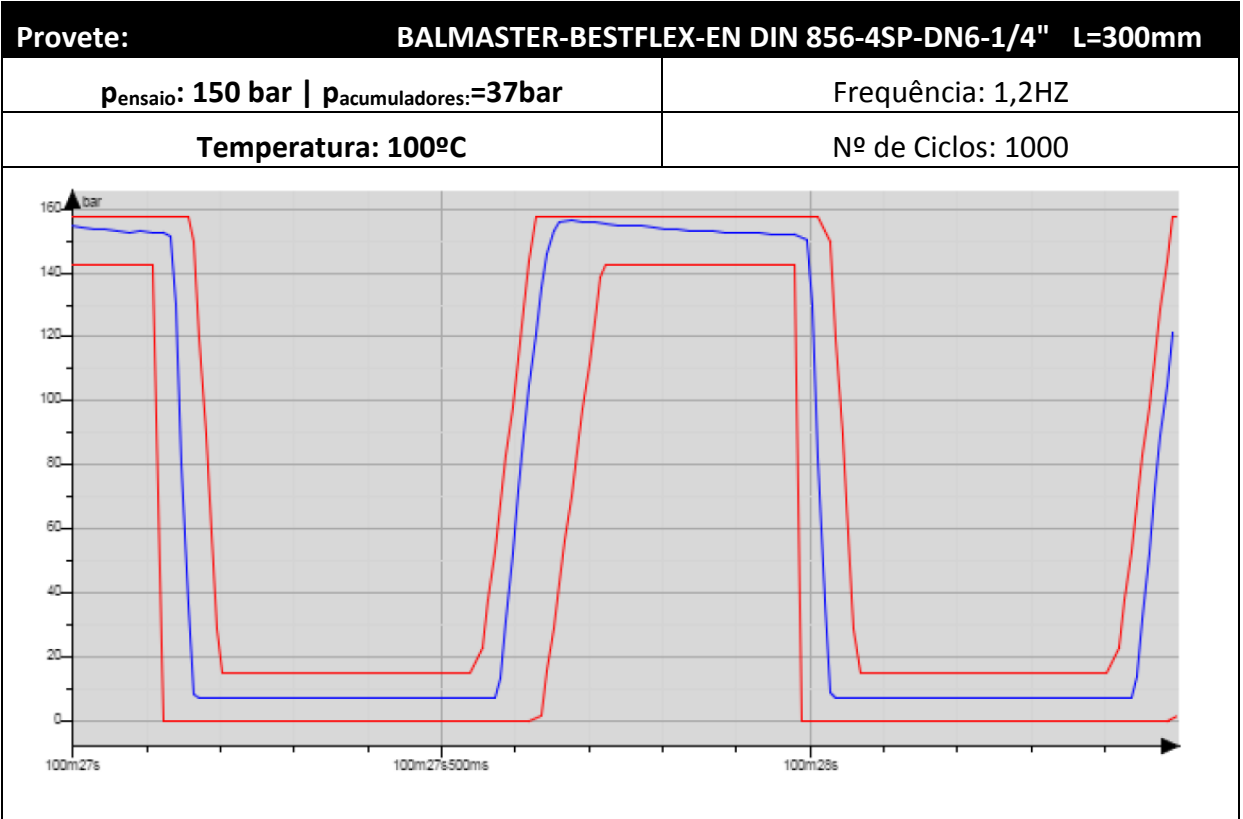
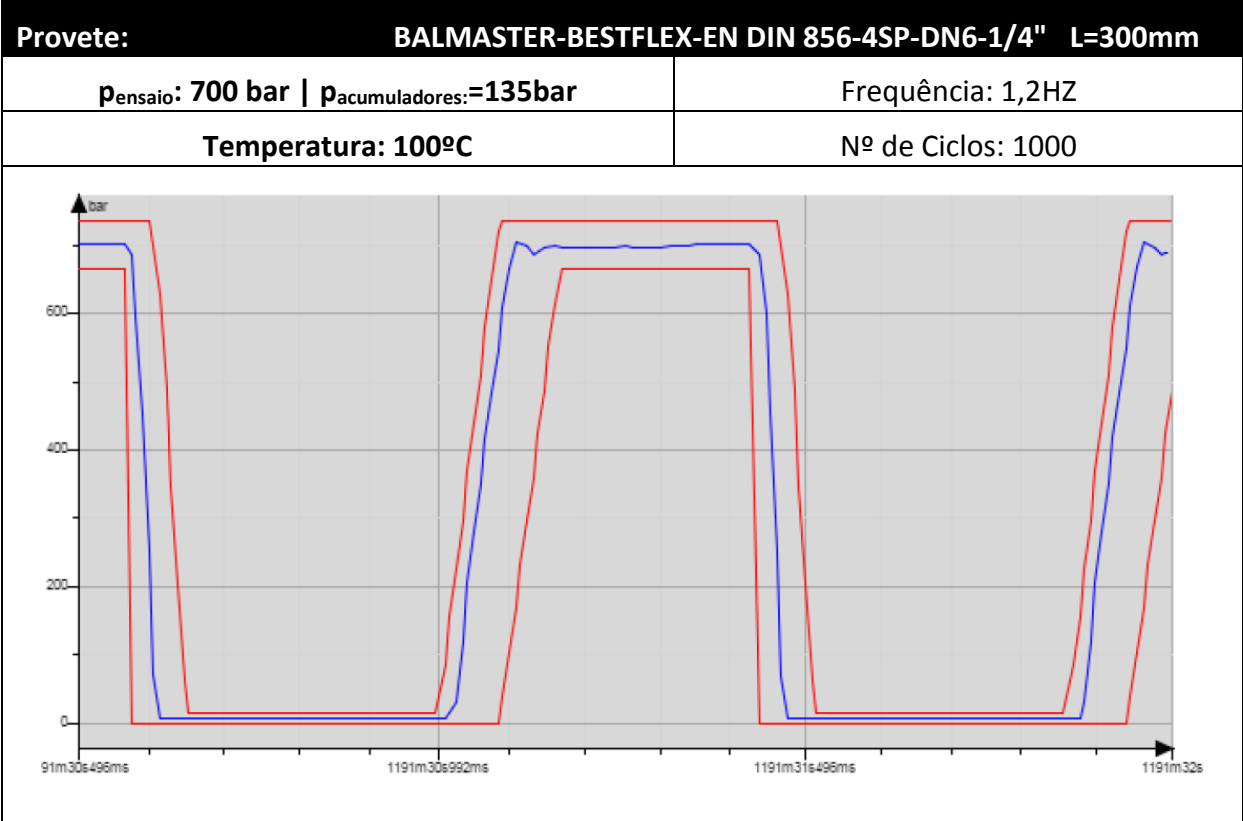


Tabela 7.3- Ensaio 1: Baixo Volume, 700bar, 0,8Hz



Observações

Originalmente esta banca anunciava que realizava o ensaio de impulso de 100 a 1000 bar. Reduziu-se um pouco esta gama por dois motivos: a pressão máxima limitou-se a 700 bar por ser suficiente para toda a gama de mangueiras da Balflex e assim evita-se o uso severo dos componentes;

Verificou-se que para existir uma subida rápida de pressão à frequência mais rápida é necessário uma pressão mínima de aproximadamente 40 bar. É necessário esta pressão para vencer a contrapressão da circulação do fluido a 10bar e aplicar força suficiente para vencer a inércia do deslocamento do multiplicador.

Para este volume, de $8,4\text{cm}^3$, consegue-se ensaiar em toda a gama de funcionamento da banca, sendo possível realizar ensaios a 1,2Hz o que se traduz numa redução de cerca de 20% do tempo de ensaio e dos custos energéticos.

7.1.2 Ensaio 2: Volume médio

Neste ensaio, utilizou-se como provete, uma mangueira de 1" com 900mm de comprimento. Volume aproximado de $441,8\text{cm}^3$, cerca de 50 vezes superior ao volume do ensaio anterior.

Tabela 7.4- Ensaio 2: Médio Volume, 150bar 0,8Hz

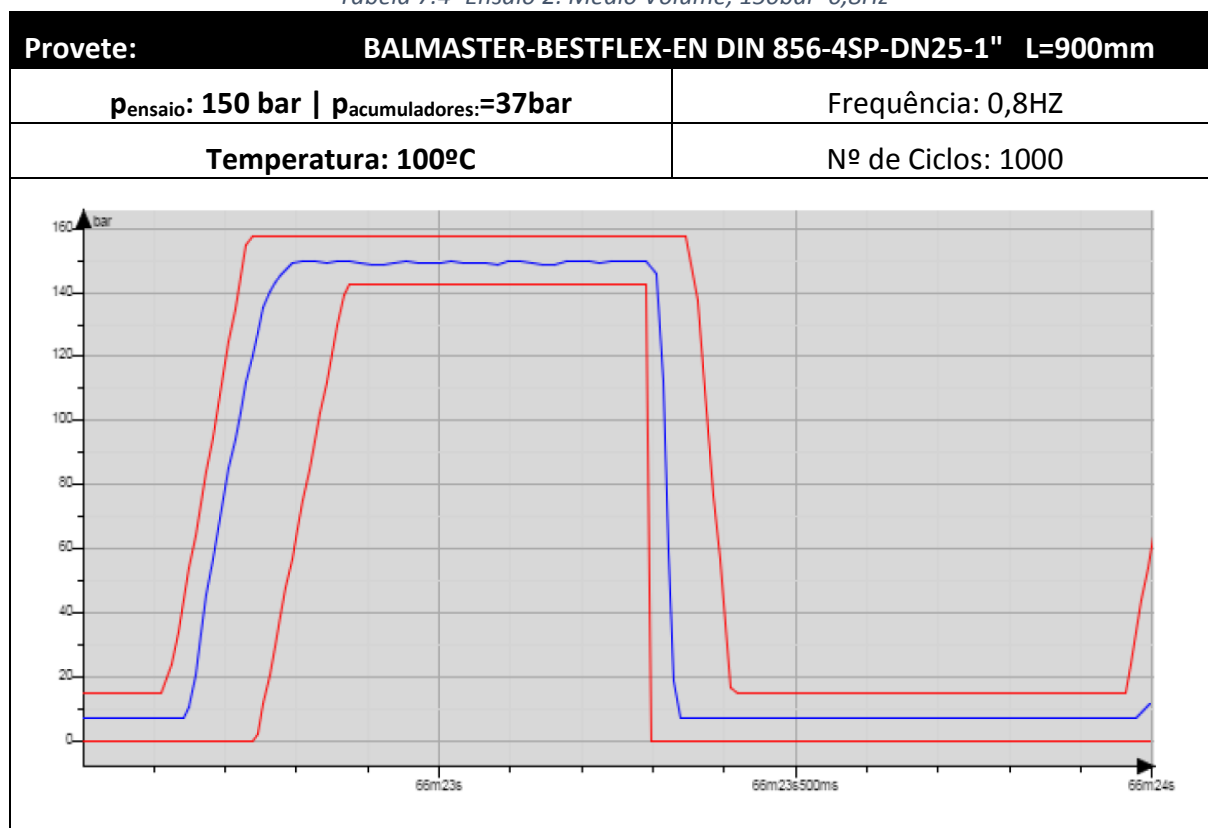


Tabela 7.5- Ensaio 2: Médio Volume, 150bar 1,2Hz

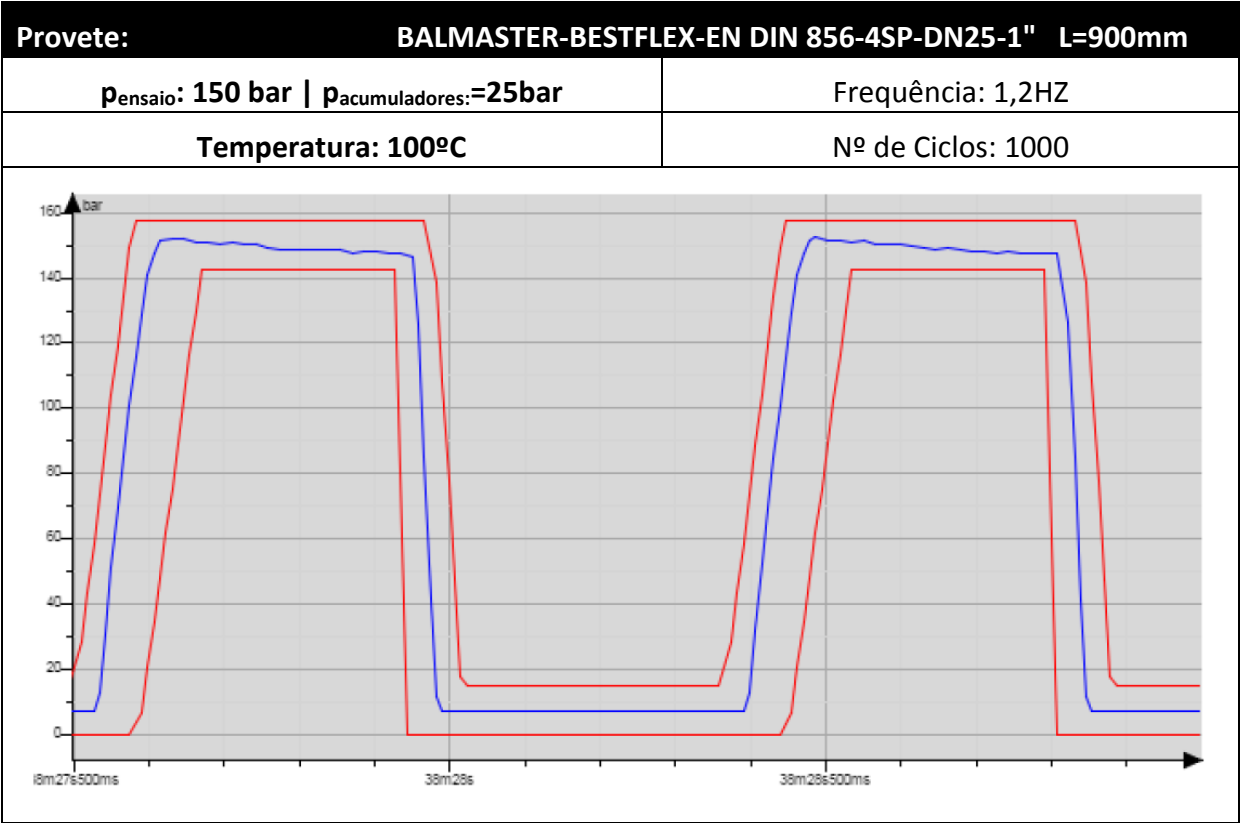


Tabela 7.6- Ensaio 2: Médio Volume, 700bar 1,2Hz

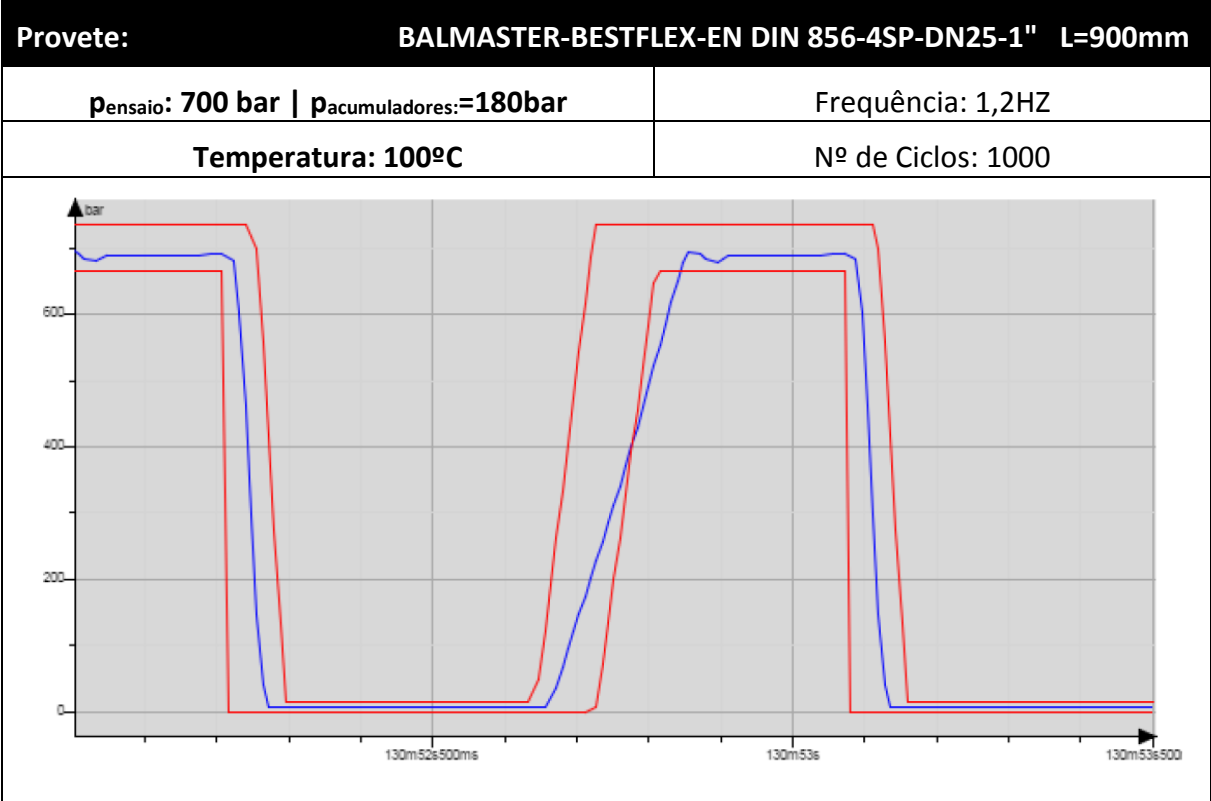
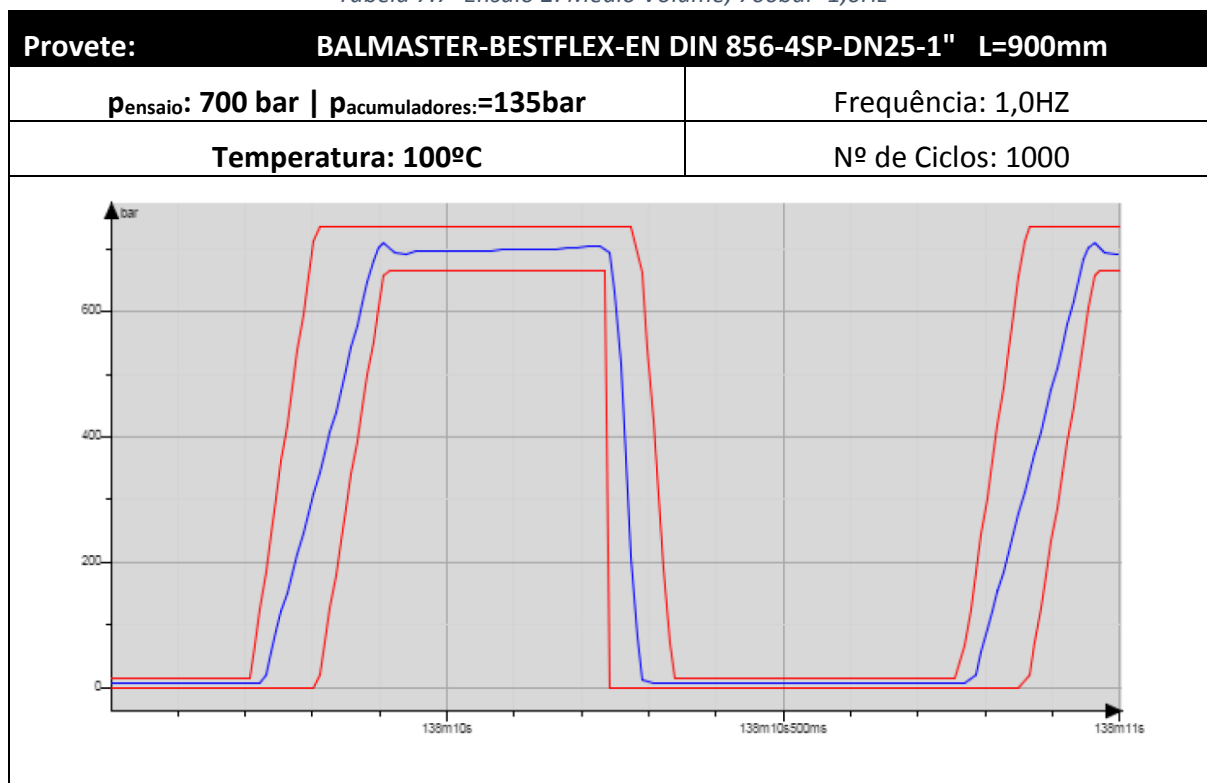


Tabela 7.7- Ensaio 2: Médio Volume, 700bar 1,0Hz



Observações:

Neste ensaio verifica-se que a baixa pressão, 150 bar, não existe qualquer problema em realizar o ensaio à frequência mais rápida.

Para a pressão limite superior, 700 bar, a subida de pressão não é célere o suficiente para cumprir a normalização à frequência mais rápida. No entanto ensaiando à frequência de 1HZ o declive da curva de pressão já cumpre os limites impostos pela normalização, isto porque para uma frequência mais baixa o tempo de subida necessário, 15% do tempo de ciclo, é maior.

7.1.3 Ensaio 3: Volume elevado

Neste ensaio, utilizou-se como provete uma mangueira de 1” com 1900mm de comprimento- Volume aproximado de 932,3cm³.

Tabela 7.8 - Ensaio 3: Alto Volume, 150bar, 0,8Hz

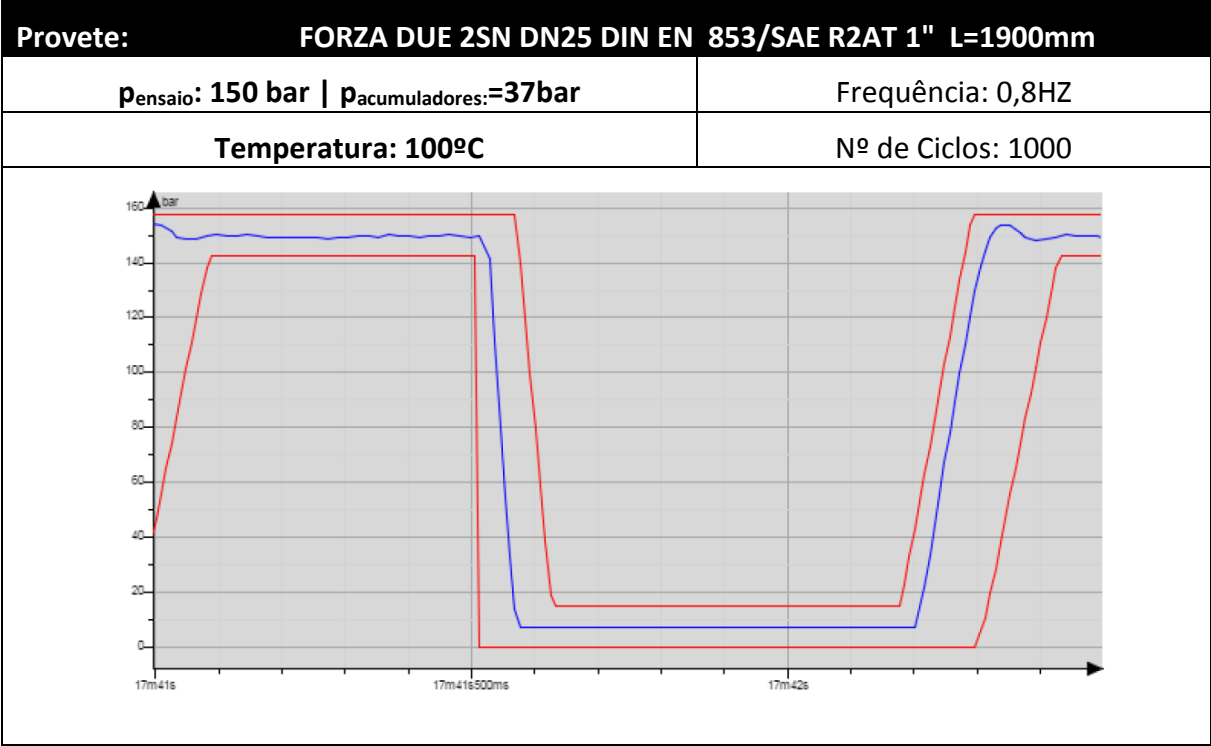


Tabela 7.9 - Ensaio 3: Alto Volume, 150bar, 1,2Hz

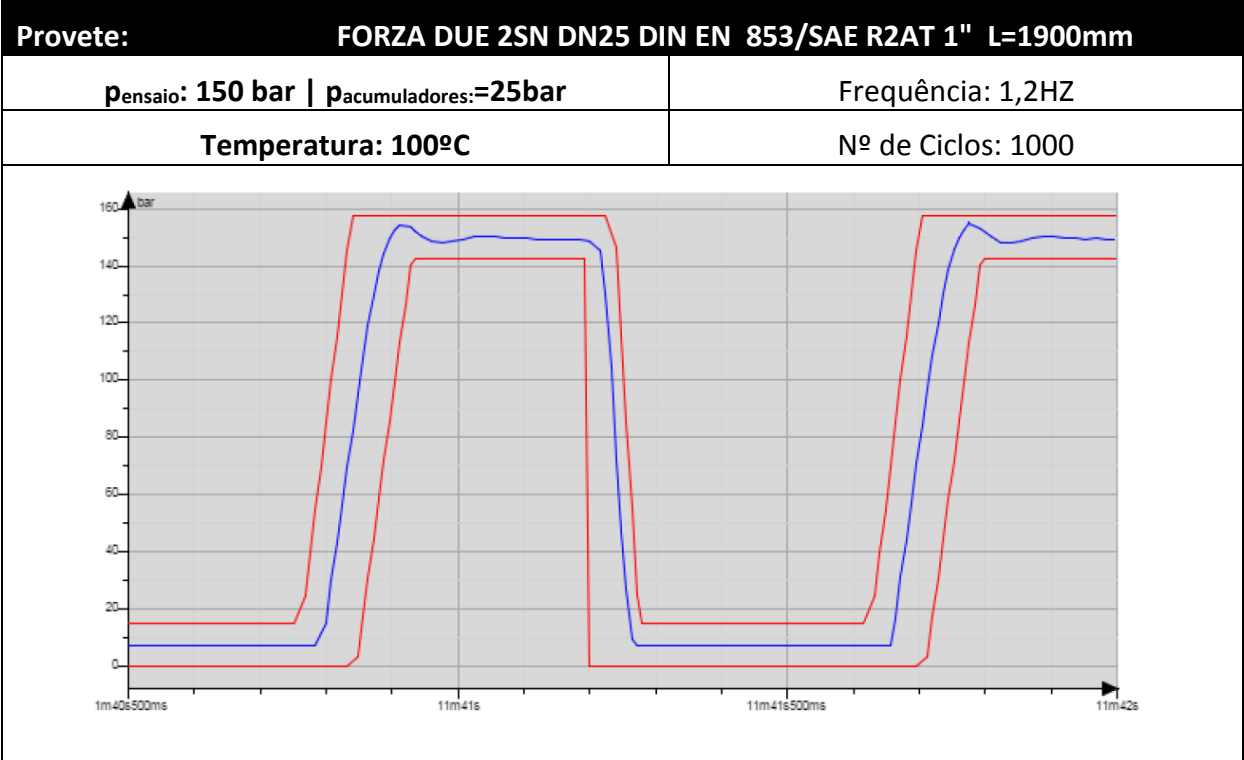


Tabela 7.10 - Ensaio 3: Alto Volume, 700bar 1,0Hz

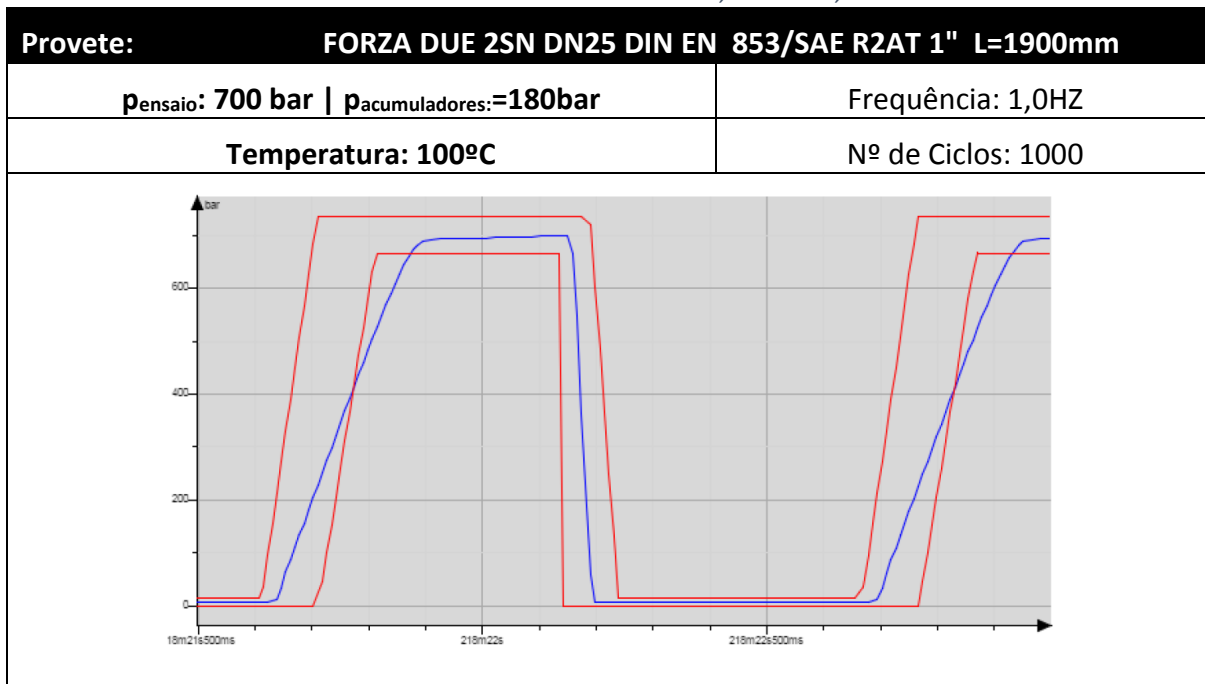
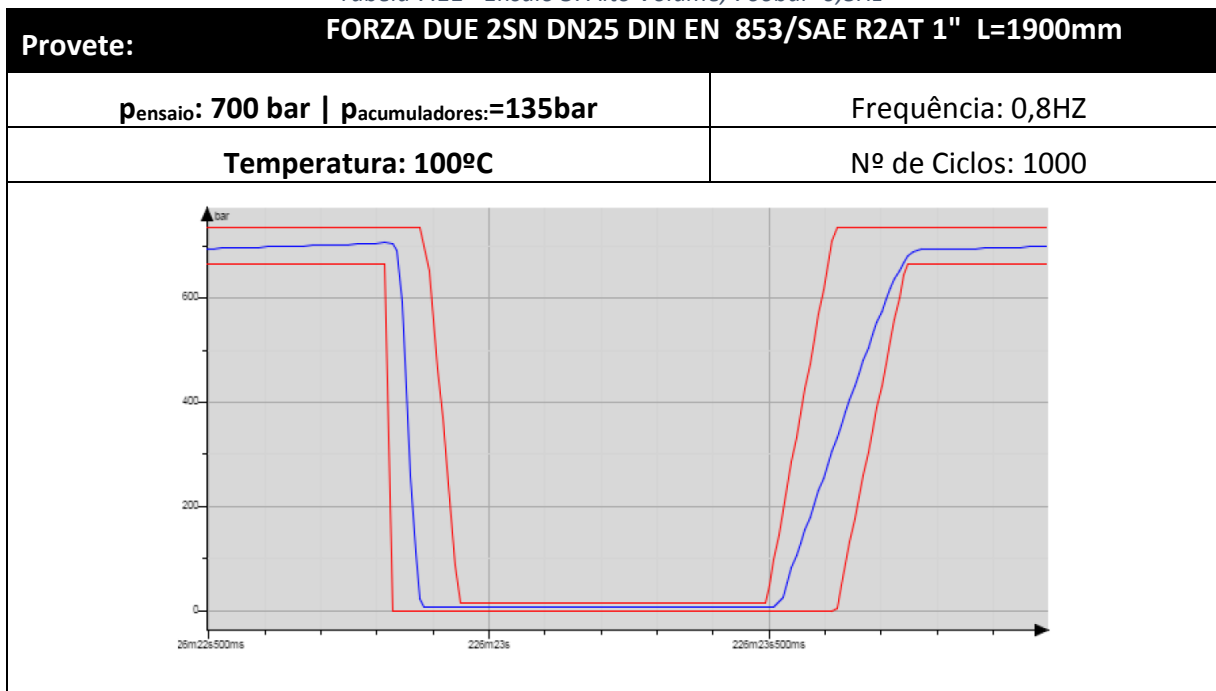


Tabela 7.11 - Ensaio 3: Alto Volume, 700bar 0,8Hz



Observações:

Apesar do aumento do volume 110 vezes superior ao provete de volume mais reduzido, verifica-se que não existiram problemas em se realizar o ensaio à pressão mínima e à frequência máxima. Isto justifica-se por a expansão volumétrica da mangueira, assim como a compressibilidade do fluido hidráulico, serem proporcional à pressão de ensaio.

Por este mesmo motivo seria de esperar que não fosse possível ensaiar o provete a 700bar à frequência de 1HZ. Como se pode constatar nos gráficos das tabelas 7.10 e 7.11 apenas foi possível realizar o ensaio de impulso a 700 bar à frequência mais baixa, 0,8Hz.

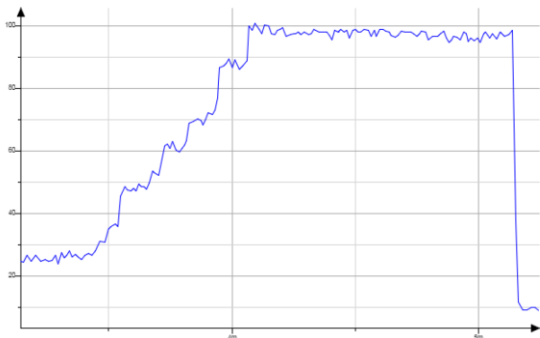
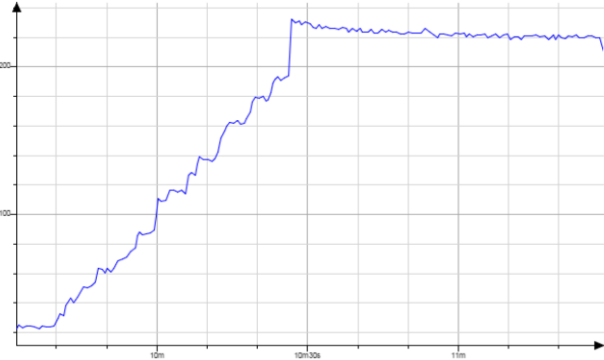
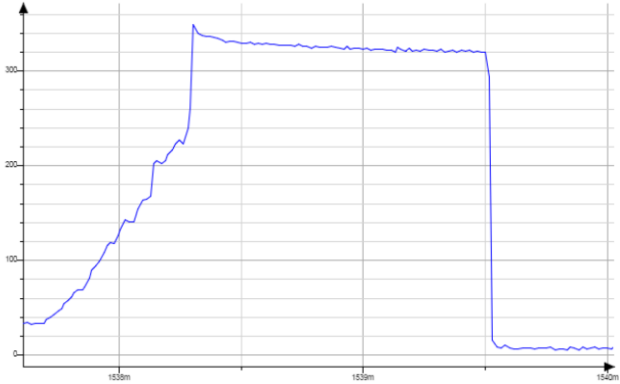
7.2 Validação do ensaio de rebentamento

Para a validação do ensaio de rebentamento é necessário averiguar se a banca cumpre a normalização e determinar a gama de teste das mangueiras. Selecionou-se para o ensaio três provetes de diferentes diâmetros e comprimentos para se obterem volumes diferentes.

7.2.1 Ensaio 4: Baixo volume

Neste ensaio o objetivo é verificar o cumprimento da rampa de pressão e os movimentos de compressão que o multiplicador de alta pressão faz para mangueiras de volume reduzido. O provete utilizado possui um volume aproximado de 8,4cm³. O tempo esperado até atingir a pressão especificada é de 30segundos.

Tabela 7.12 - Ensaio 4: Baixo Volume; 100; 200; 300 bar- 30seg

Provete: BALPAC 3000-SAE R17-DIN 857-1SC -1/4"-WP 22.5 MPA L=300mm	
Pressão mínima de rebentamento: 100 bar Tempo até atingir pressão mínima: 30s	
Pressão mínima de rebentamento: 200 bar Tempo até atingir pressão mínima: 30s	
Pressão mínima de rebentamento: 300 bar Tempo até atingir pressão mínima: 30s	

Nos ensaios que se seguem a 500 bar pretende-se evidenciar o funcionamento do controlador desenvolvido para operar o multiplicador de alta pressão.

Tabela 7.13- Ensaio 4: Baixo Volume; 500 bar- 30seg

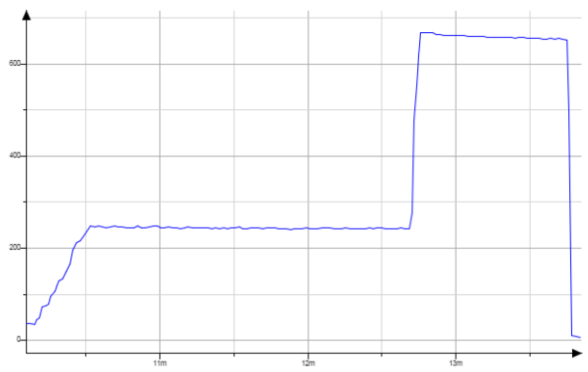
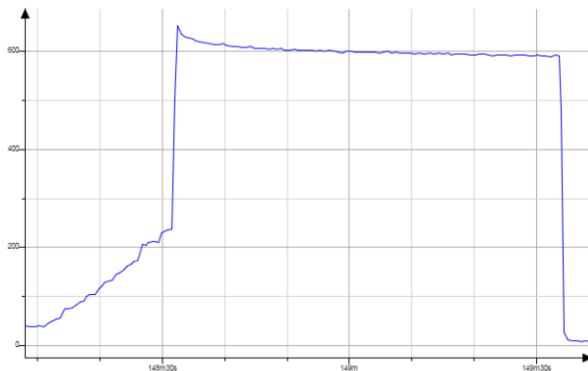
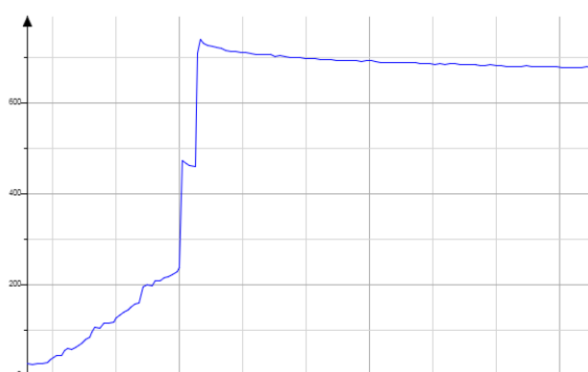
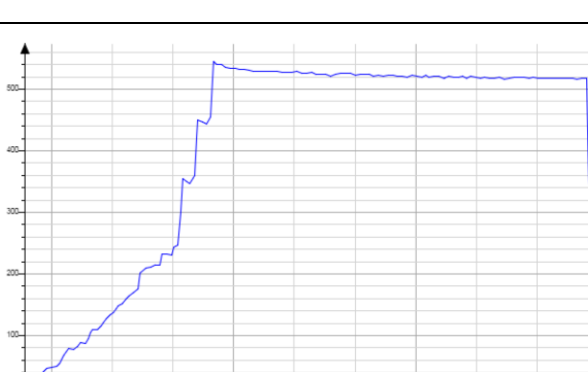
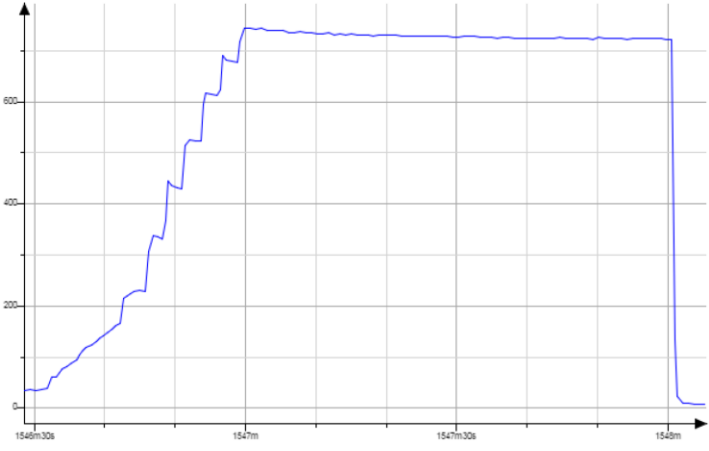
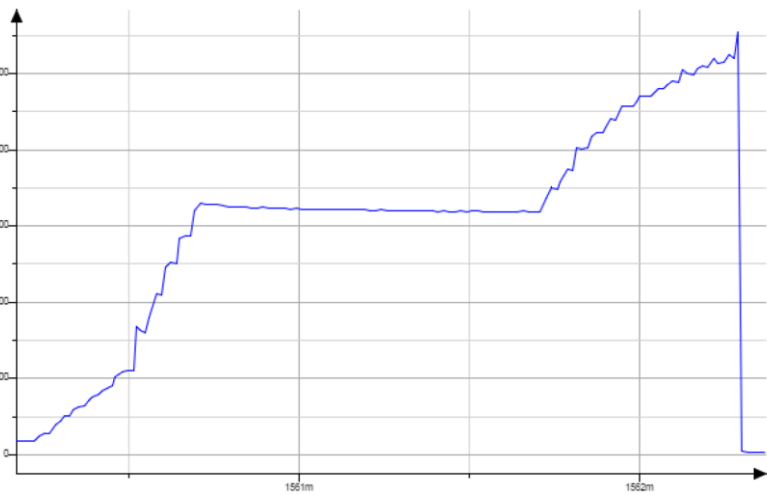
Provete: BALPAC 3000-SAE R17-DIN 857-1SC -1/4"-WP 22.5 MPA L=300mm	
<p>Pressão mínima de rebentamento:500 bar</p> <p>Tempo até atingir pressão mínima: 30s</p> <p>Obs: ensaio com o controlador inativo</p>	
<p>Pressão mínima de rebentamento:500 bar</p> <p>Tempo até atingir pressão mínima: 30s</p> <p>Obs: ensaio com controlador com impulso fixo sem PWM</p>	
<p>Pressão mínima de rebentamento:500 bar</p> <p>Tempo até atingir pressão mínima: 30s</p> <p>Obs: ensaio com controlador com PWM e sem monitorização da pressão</p>	
<p>Pressão mínima de rebentamento:500 bar</p> <p>Tempo até atingir pressão mínima: 30s</p> <p>Obs: ensaio com o controlador totalmente funcional.</p>	

Tabela 7.14- Ensaio 4: Baixo Volume; 700, 600 bar c/rebentamento- 30seg

Provete:	BALPAC 3000-SAE R17-DIN 857-1SC -1/4"-WP 22.5 MPA L=300mm
<p>Pressão mínima de rebentamento:700 bar</p> <p>Tempo até atingir pressão mínima: 30s</p>	
<p>Pressão mínima de rebentamento:600 bar</p> <p>Tempo até atingir pressão mínima: 30s</p> <p>Obs: Após a verificação à pressão mínima continuou-se até à pressão de rebentamento.</p>	

Observações:

Verifica-se que durante o funcionamento do multiplicador pneumo-hidráulico de baixa pressão(1:36) até 200bar a pressão é gerada em forma de rampa conforme o esperado. No ensaio até 300bar observa-se uma subida abrupta de pressão causada pela entrada em funcionamento do multiplicador pneumo-hidráulico (903:1). Este multiplicador tem uma pressão pneumática mínima de funcionamento de 2 bar, o que provoca uma subida abrupta de pressão até atingir à saída aproximadamente 1800bar como se pode constatar no 1º gráfico da tabela 7.13.

No 2º gráfico o controlo é efetuado por impulsos de largura temporal fixa. É mais rápido, no entanto a subida não cumpre a rampa. Aplicou-se então um controlo por impulsos idêntico ao controlo por PWM onde o *duty cycle* é proporcional ao valor de pressão da rampa de ensaio. O resultado está representado no 3º gráfico.

Para a rampa realizar degraus mais suaves, sempre que a curva de pressão ultrapassa o valor gerado pela rampa, este controlo permanece inativo. Este controlo está

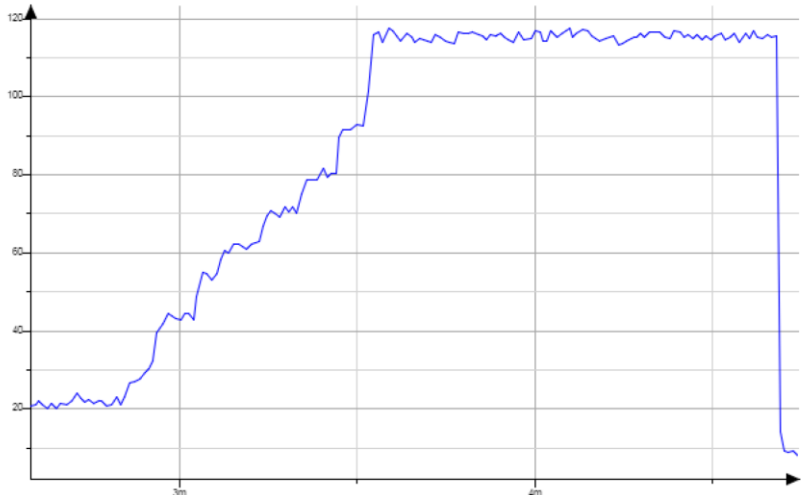
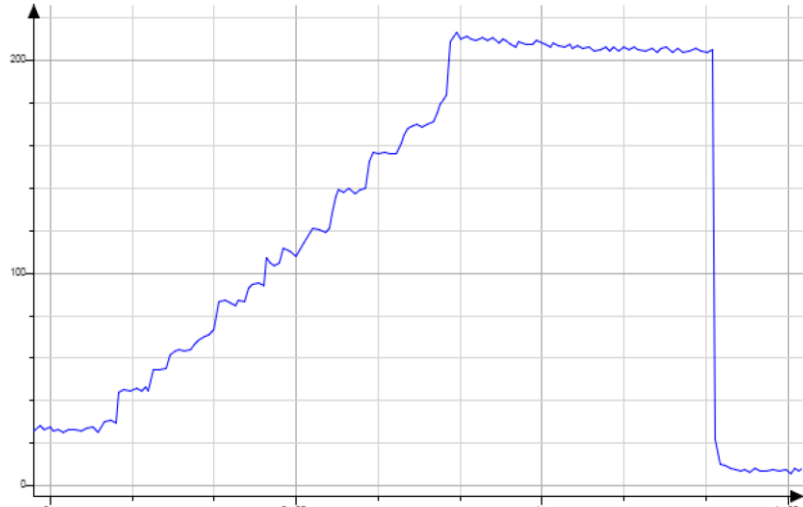
representado no 4º gráfico onde se verifica o cumprimento da rampa de pressão no tempo estabelecido, 30 segundos.

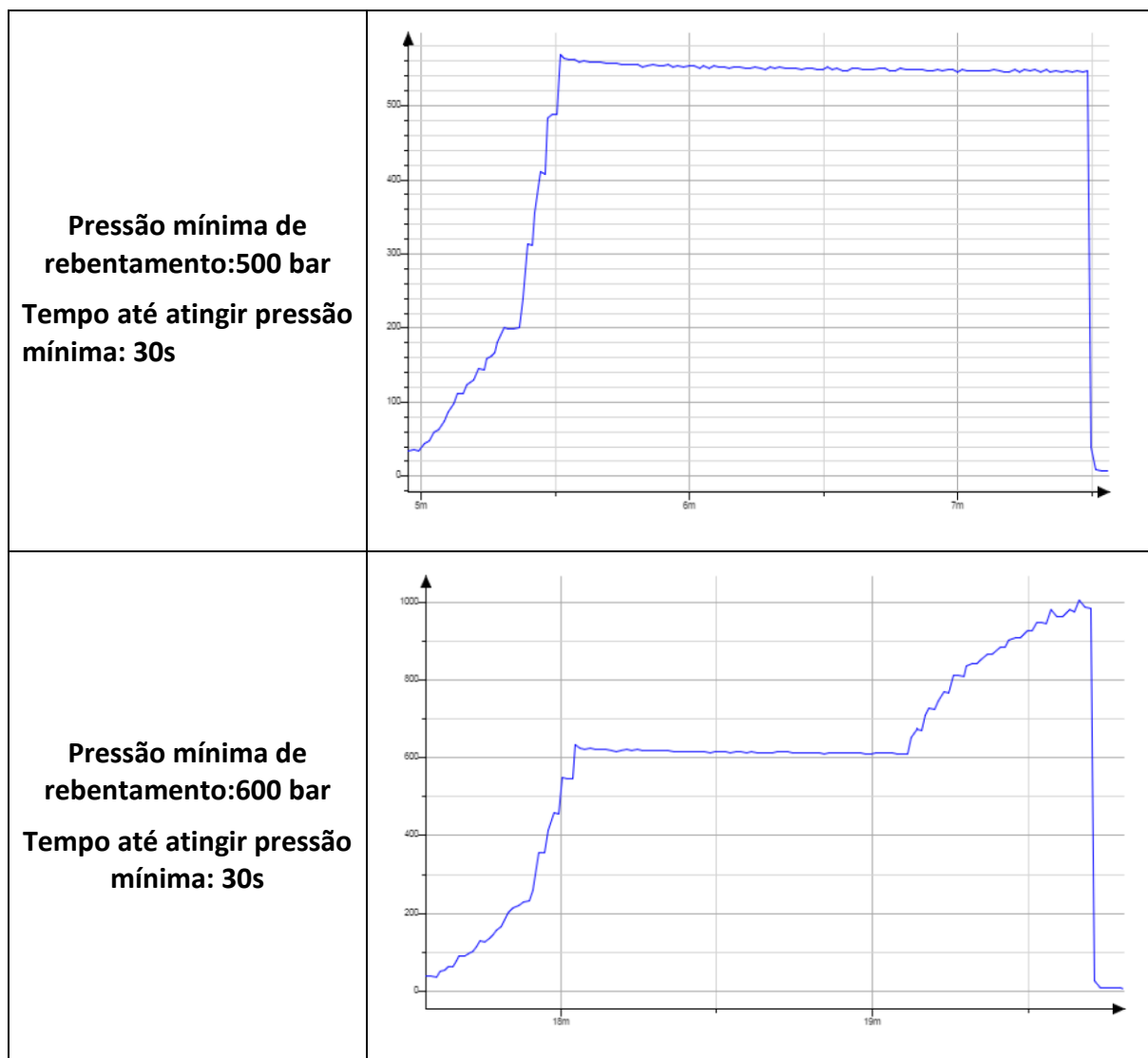
Na tabela 7.14, confirma-se que com a aplicação do controlo acima descrito o ensaio a 700 bar correu conforme o estabelecido. Realizou-se posteriormente um ensaio completo, onde foi estabelecida a pressão mínima de rebentamento a 600 bar. O tempo de subida de pressão foi cumprido e permaneceu durante 60 segundos a fazer a verificação à pressão mínima. Passado este tempo a rampa de pressão manteve a mesma caraterística até se verificar o rebentamento.

7.2.2 Ensaio 5: Volume médio

Este ensaio é idêntico ao anterior, mas utiliza-se agora uma mangueira de maiores dimensões com um volume próximo de 441,8cm³.

Tabela 7.15 - Ensaio 5: Médio Volume; 100, 200, 500, 600 bar c/rebentamento- 30seg

Provete: FORZA DUE 2SN EN25 DIN EN 853/SAE R2AT 1" L=1900mm	
Pressão mínima de rebentamento:100 bar Tempo até atingir pressão mínima: 30s	
Pressão mínima de rebentamento:200 bar Tempo até atingir pressão mínima: 30s	



Observações:

Pode-se constatar a partir dos ensaios a 100 e 200 bar que para esta dimensão de provete o multiplicador pneumo-hidráulico de baixa pressão não consegue comprimir os 30 segundos estabelecidos na rampa de pressão.

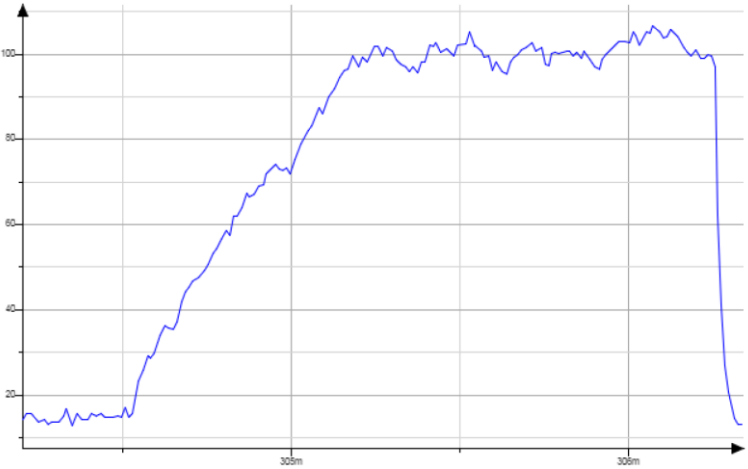
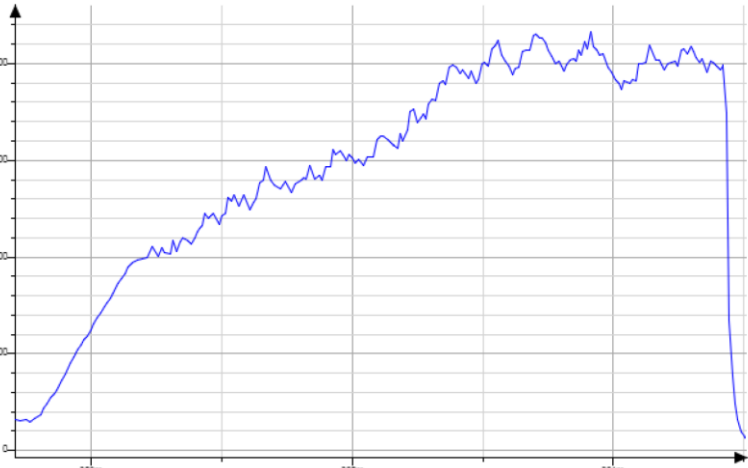
Por fim realizou-se um ensaio completo com rebentamento onde é possível verificar o bom funcionamento da banca para este provete.

7.2.3 Ensaio 6: Volume elevado

Neste ensaio utiliza-se agora um provete de grande dimensão onde não foi possível, por razões de segurança, levar este provete ao rebentamento, por ser maior que o “caixão de rebentamento”.

Estabeleceu-se também um tempo de rampa de subida de pressão de 60 segundos, porque no ensaio anterior o multiplicador pneumo-hidráulico de baixa pressão não cumpria a taxa de pressão para 30 segundos.

Tabela 7.16- Ensaio 5: Alto Volume; 100, 400 bar -60seg

Provete:	TORNARE 4-SAE R4-S&D-DN32-1.1/4" L=1900mm
<p>Pressão mínima de rebentamento:100 bar</p> <p>Tempo até atingir pressão mínima: 60s</p>	
<p>Pressão mínima de rebentamento:400 bar</p> <p>Tempo até atingir pressão mínima: 60s</p>	

Verifica-se que a 100 bar o tempo de rampa é cumprido ao contrário do ensaio a 400 bar que demorou cerca de 110 segundos até atingir a pressão mínima. Este provete não passou em nenhum dos testes por apresentar fugas. Está aqui descrito para evidenciar o modo como o autómato considera um provete com fugas.

Quando é iniciada a verificação à pressão mínima de rebentamento, se a pressão no provete for inferior à pressão estabelecida é gerado um impulso para o repor à pressão mínima de rebentamento. Se forem gerados mais que 5 impulsos o autómato considera-o ensaio “com fugas” e atribui o resultado “FAIL” ao ensaio, terminando o ensaio antes dos 60 segundos de verificação.

8 Conclusões

8.1 Análise ao Produto Final

O objetivo principal desta dissertação é a recuperação integral da banca de ensaios quer ao nível de *hardware*, como ao nível do controlo para a tornar tecnologicamente avançada.

Para se elaborar uma solução de automação primeiro realizou-se uma inspeção à banca de ensaios com o objetivo de compreender o seu funcionamento e detetar avarias e funcionamentos defeituosos.

Verificou-se que as causas que levaram à paragem da máquina foram as avarias em alguns componentes por não serem corretamente operados, por ser uma máquina com um controlo bastante manual e que exigia muito conhecimento técnico para a operar. A falta de assistência técnica especializada no território nacional foi o motivo derradeiro para a paragem da banca de ensaios.

O comando era maioritariamente efetuado por válvulas manuais. Existia um autómato para comandar os tempos de “on” e “off” do ciclo de impulso. A monitorização das variáveis como temperatura e curvas de pressão características dos ensaios eram recolhidas por mostradores digitais que reencaminhavam a informação para uma carta de aquisição de dados num computador com um sistema operativo próprio que não estava funcional.

Após o estudo da normalização e das condições prévias de funcionamento, propôs-se uma solução de automação com os resultados da análise prévia efetuada e uma proposta de requalificação da banca justificada com as funcionalidades que se pretendiam implementar.

Para automatizar a banca de ensaios desenvolveu-se um sistema controlo novo que permite a realização dos ensaios de forma automática. Para isso foi necessário controlar todas as variáveis dos ensaios por um único elemento de controlo. Substituíram-se as válvulas de comando manual por válvulas de comando proporcional e realizou-se um conjunto de alterações no circuito elétrico, hidráulico e pneumático. Posteriormente instalou-se um novo autómato com entradas e saídas analógicas e digitais juntamente com uma HMI tátil para comando da banca.

No fim de cada ensaio o resultado atribuído é automático, não sendo possível ao operador alterar. Para tornar a utilização da banca mais intuitiva e imune a erros foi criada uma base de dados das mangueiras Balflex com todos os parâmetros de ensaio. Durante a configuração da máquina o operador apenas introduz o número ou nome da mangueira e todos os parâmetros de ensaio são carregados. Ainda dispõe de informação de auxílio sobre tarefas auxiliares que não puderam ser automatizadas, como por exemplo a purga do provete no ensaio de rebentamento ou a pressão de enchimento dos acumuladores no ensaio de impulso.

Desenvolveu-se ainda um conjunto de páginas onde é gerado o relatório de ensaio. Estas páginas permitem acompanhar o ensaio sendo possível a visualização em tempo real das curvas de pressão dos ensaios com uma resolução de 5ms. São abertas com um *browser* convencional e podem ser visualizadas remotamente.

Complementou-se ainda o sistema com acesso remoto. Implementou-se um *switch Ethernet* na banca de ensaios estando o autómato a comunicar com a HMI via Modbus TCP/IP Ethernet tornando o sistema totalmente transparente. A esta rede associou-se uma câmara IP no interior da câmara de ensaios e criou-se um acesso VPN à rede Balflex, sendo agora possível em qualquer parte do mundo monitorizar a máquina utilizando um *browser*.

Por fim realizaram-se vários ensaios de validação fundamentais para determinar os limites da banca. Verificou-se que para provetes até 1000cm³ é possível a realização de ensaios à pressão máxima, 700 bar. No entanto para pressões mais baixas é possível ensaiar mangueiras de maior dimensão por existir menor expansão volumétrica.

No ensaio de rebentamento é possível ensaiar qualquer tipo de mangueira. A normalização dita que o provete deve ter 300mm de comprimento. Dadas as dimensões do caixão de ensaio o tamanho máximo para um provete é 2", ou seja, um volume aproximado de 612cm³. Validou-se o equipamento para mangueiras até 1000 cm³. O maior desafio foi controlar a máquina para baixas pressões o que se conseguiu desenvolvendo um controlador específico para os multiplicadores pneumo-hidráulicos.

O produto final superou completamente as expectativas iniciais, que de uma máquina que seria vendida para desmantelamento, se tem agora uma banca de ensaios que cumpre a normalização com rigor, fácil de utilizar e com menor predisposição para avarias. Existem ainda algumas melhorias que podem ser realizadas que são descritas no sub-capítulo "Trabalhos Futuros".

8.2 Trabalhos futuros

Esta banca de ensaios só permite o ensaio de impulso a uma mangueira. Desde a altura de construção da banca até à atualidade a normalização mudou e exige o ensaio a 4 provetes iguais salvo algumas exceções. Seria oportuna a produção de dois blocos adaptadores para 4 mangueiras com furação que permita ensaiar as mangueiras a 90º e 180º.

Seria igualmente interessante adaptar a máquina para cumprir outros ensaios como o de impulso com flexão (tipo 2) ISO 6802-2 com a implementação de um sistema de deslocamento horizontal por parafuso sem-fim e servomotor. No multiplicador de pressão a aplicação de um LVDT permitirá determinar a expansão volumétrica de uma mangueira cumprindo a normalização ISO 6801. Para futuras melhorias o autómato tem uma porta CANOpen para conectar, por exemplo, um servomotor ou um transdutor de posição.

O ensaio de impulso, dada a sua longa duração, gasta bastante energia e água para arrefecimento. A implementação de um contador energético e um caudalímetro permitiria estimar o custo energético de cada ensaio. Outro fator importante na realização do ensaio de impulso é a pressurização dos acumuladores que devem ser enchidos com azoto, de acordo com a pressão de ensaio. Este processo desperdiça muito azoto para a atmosfera. Um sistema que permitisse reaproveitar o azoto iria, a longo prazo, reduzir os custos associados à compra de azoto.

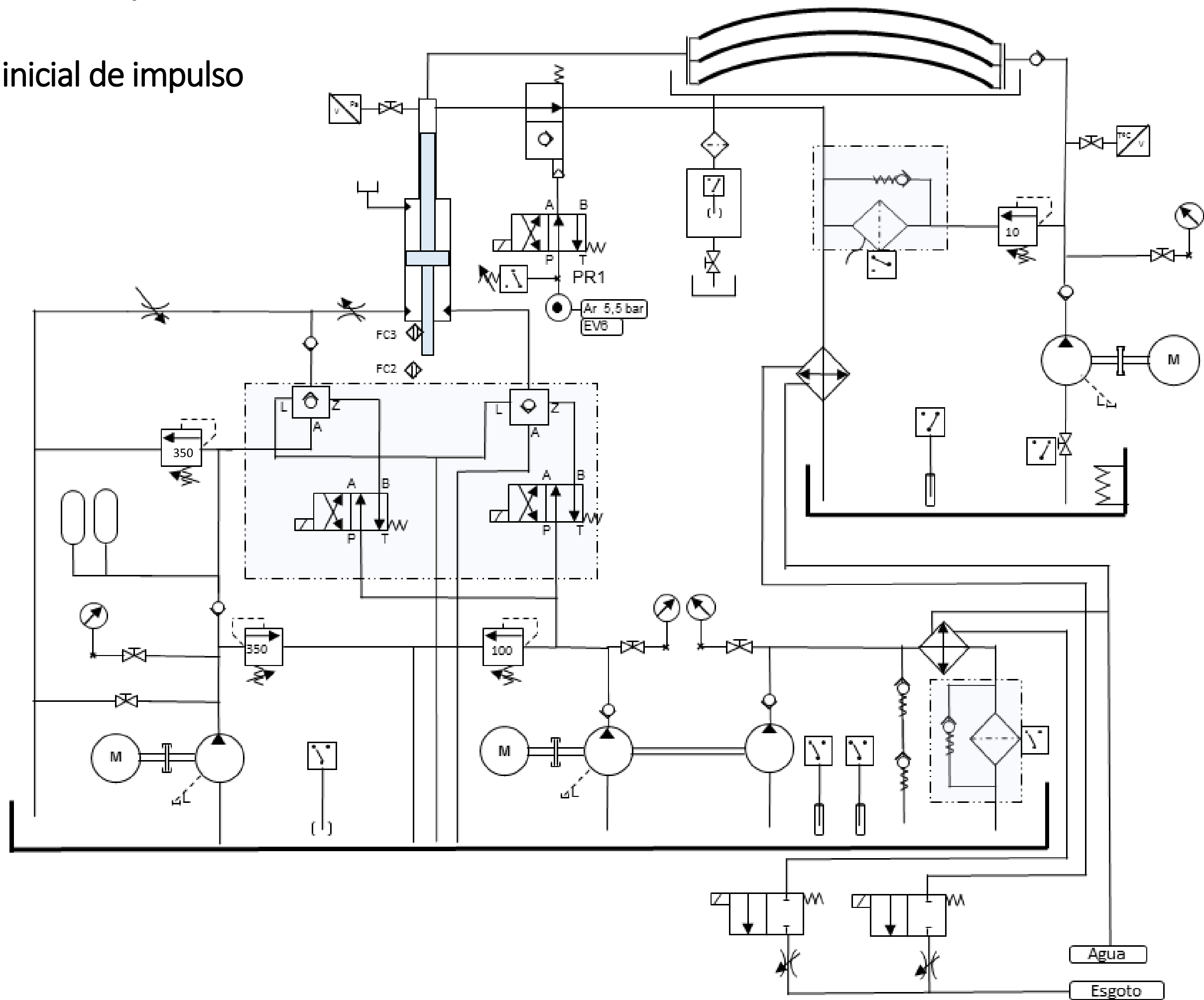
A câmara de rebentamento é de difícil acesso sendo necessário o operador subir para dentro da câmara de ensaio para montar uma mangueira. A construção de uma banca dedicada ao ensaio de rebentamento tornava a montagem da mangueira mais simples e o ensaio poderia ser realizado com água. Deste modo esta banca serviria também para realizar ensaios à pressão de prova das mangueiras que seguiriam para o mercado.

9 Referências e Bibliografia

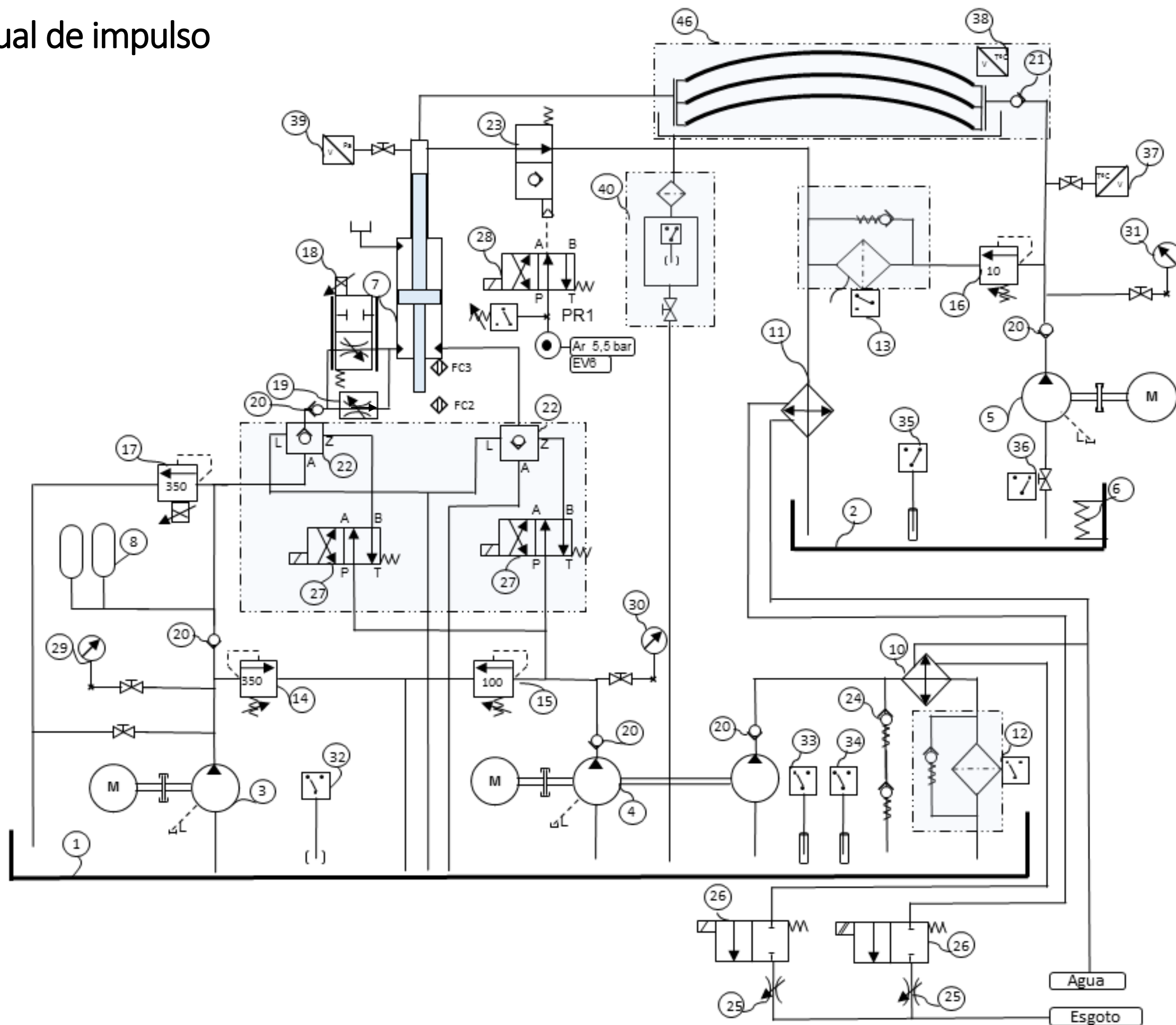
- [1] “Balflex- Site Oficial,” [Online]. Available: www.balflex.com. [Acedido em 17 02 2015].
- [2] “VMFlex- Site Oficial,” [Online]. Available: www.vmflex.pt. [Acedido em 17 02 2015].
- [3] P. A. F. FIGUEIRA, “O SISTEMA DE QUALIDADE NUMA ORGANIZAÇÃO E A IMPORTÂNCIA DA SUA IMPLEMENTAÇÃO,” 2009.
- [4] I. P. d. Qualidade, “Manual da Normalização,” 2009.
- [5] ISO-International Organization for Standardization, “Rubber or plastics hoses and hose assemblies -- Hydraulic-pressure impulse test without flexing,” 2008.
- [6] ISO-International Organization for Standardization, “Rubber and plastics hoses and hose assemblies -- Hydrostatic testing”.
- [7] SAE-Society of Automotive Engineers, “Test and Test Procedures for SAE 100R Series Hydraulic Hose and Hose Assemblies”.
- [8] “Uniflex,” [Online]. Available: <http://www.uniflex-hydraulics.com/>. [Acedido em 02 05 2014].
- [9] “Resato: High Pressure Technology & Waterjet Technology,” [Online]. Available: www.resato.com. [Acedido em 29 04 2014].
- [10] “Blum-Novotest GmbH,” [Online]. Available: www.blum-novotest.com. [Acedido em 20 05 2014].
- [11] “Bimal Testing Machines Spa,” [Online]. Available: www.bimal.com. [Acedido em 20 02 2014].
- [12] F. J. T. d. Freitas, Elementos de hidráulica Proporcional, 1994.
- [13] “Haskel,” [Online]. Available: <http://www.haskel.com/>. [Acedido em 8 05 2014].
- [14] A. M. A. S. António J. S. Ferreira da Silva, Automação Pneumática, 2011.

ANEXO A: Esquemas Hidráulicos e Pneumáticos






Circuito inicial de impulso



Circuito atual de impulso



Componentes hidráulicos e pneumáticos intervenientes no ensaio de impulso

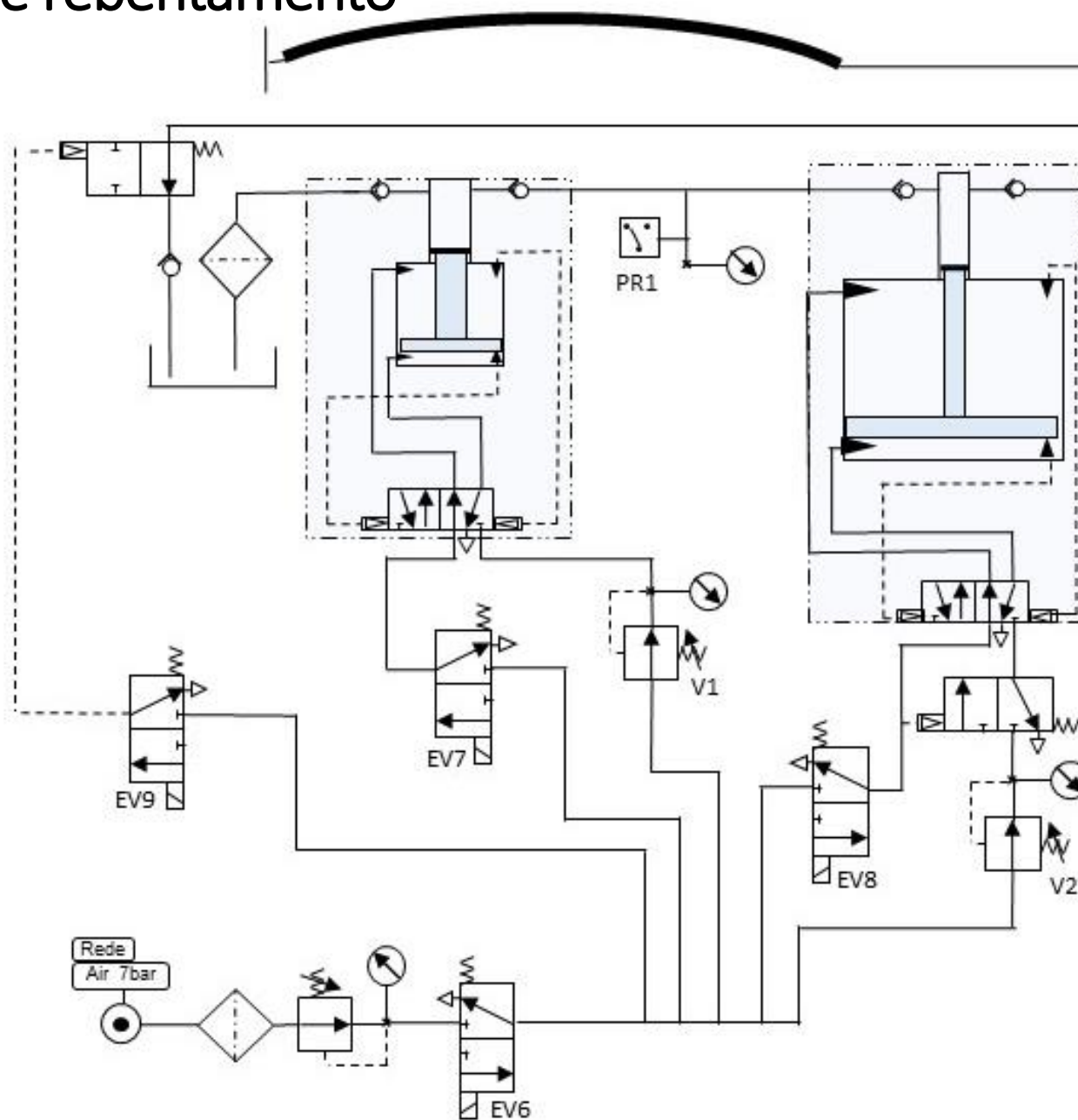
N.º	Qnt.	Des.	Descrição	Imagem
1	1	RES1	Reservatório principal 200L	
2	1	RES2	Reservatório aquecido 20L	
3	1	M1	Grupo motor elétrico 9,2kW/ bomba de cilindrada fixa 16L/min	
4	1	M2	Grupo motor elétrico 2,2 / agregado de bombas de cilindrada fixa	
5	1	M3	Grupo motor elétrico 0,75/bomba de cilindrada fixa	
6	1	AQC	Resistência de aquecimento 4,5 kW	
7	1	MUL1	Multiplicador de pressão hidráulico 3:1	

8	2	ACU	Acumulador hidráulico de membrana <i>Olaer</i> 340 bar 18,9L	
9	1	BLC	Bloco hidráulico	
10	1	PERM 1	Permutador de calor circuito de comando	
11	1	PERM 2	Permutador de calor circuito de ensaio	
12	1	FI1	Filtro circuito de comando c/ sensor de colmatção	
13	1	FI2	Filtro circuito de ensaio c/ sensor de colmatção	
14	1	V1	Válvula limitadora de pressão 350bar	
15	1	V2	Válvula limitadora de pressão 100bar	
16	1	V3	Válvula limitadora de pressão 10bar	
17	1	VP1	Válvula limitadora de pressão proporcional	

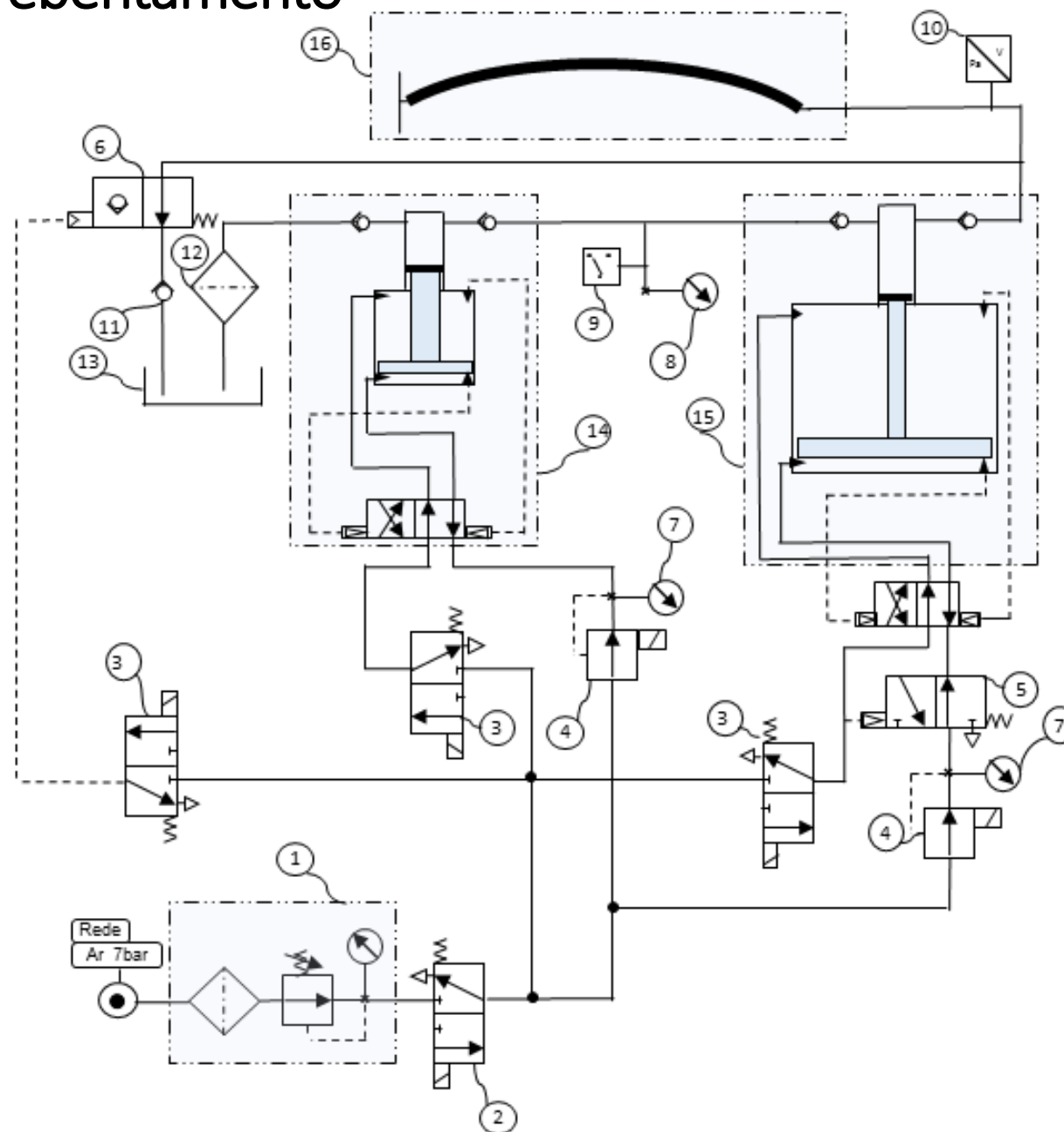
18	1	VP2	Válvula estranguladora proporcional	
19	1	V4	Válvula reguladora de caudal	
20	5	VR	Válvula de retenção	
21	1	V5	Válvula de retenção de alta pressão	
22	2	V6 V7	Válvula de retenção pilotada hidraulicamente	
23	1	V8	Válvula de retenção de alta pressão pilotada pneumáticamente	
24	2	VR	Válvula de retenção com mola	
25	2	V9 V10	Estrangulador manual	
26	2	EV3 EV4	Válvula direcional 2/2	
27	2	EV1 EV2	Válvula direcional 4/2	
28	1	EV5	Válvula direcional 4/2 pneumática	

29	1	MAN1	Manómetro de <i>Bourdon</i> 600	
30	1	MAN2	Manómetro de <i>Bourdon</i> 160bar	
31	1	MAN3	Manómetro de <i>Bourdon</i> 50bar	
32	1	LI1	Sensor de nível	
33	1	TR1	Termostato 45°C	
34	1	TR2	Termostato 60°C	
35	1	TR3	Termostato 170°C	
36	1	FC4	Sensor de posição da válvula	
37	1	T1	Sonda de temperatura do fluído de ensaio PT100	
38	1	T2	Sonda de temperatura da câmara de ensaio PT100	
39	1	P1	Transdutor de pressão 0- 2000bar	
40	1	FI2	Reservatório de dreno da câmara de ensaio c/ sensor de nível	



Circuito inicial de rebentamento










Circuito atual de rebentamento



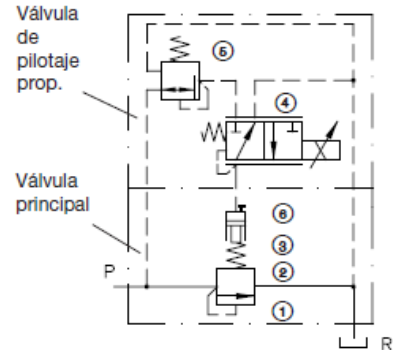
Componentes hidráulicos e pneumáticos intervenientes no ensaio de rebentamento

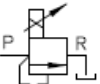
N.º	Qnt.	Des.	Descrição	Imagem
1	1	FR	Filtro regulador	
2	1	EV6	Eletroválvula 3/2	
3	3	EV7 EV8 EV9	Eletroválvula 3/2	
4	2	VP3 VP4	Válvula reguladora de pressão proporcional	
5	1	V11	Válvula direcional 3/2 pilotada pneumáticamente	
6	1	V12	Válvula de retenção pilotada pneumáticamente	

7	2	MAN4 MAN5	Manómetro de <i>Bourdon</i> 10bar	
8	1	MAN6	Manómetro de <i>Bourdon</i> 400bar	
9	1	PR2	Pressostato @ 150bar	
10	1	P2	Transdutor de pressão 0-5000bar	
11	1	VR	Válvula de retenção	
12	1	FI3	Filtro de aspiração	
13	1	RES2	Reservatório	
14	1	MUL2	Multiplicador pneumo-hidraulico de baixa pressão	
15	1	MUL3	Multiplicador pneumo-hidraulico de alta pressão	
16	1	CR	Câmara de rebentamento	

ANEXO B: Fichas Técnicas

Válvula limitadora de pressão proporcional: HAWE PMV 51-44

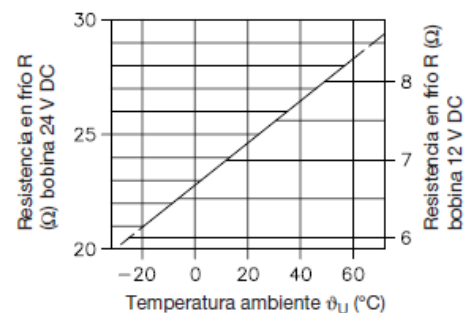


Versión	Esquema hidráulico (simplificado)	Válvula principal			Sección de control proporcional ²⁾ Mod. para elemento de válvula reductora de presión				Masa (peso)
		Modelo básico, tamaño constructivo y conexión	Conexión rosca ISO 228/1 o diámetro nominal	Caudal Q _{máx} valor de referencia (l/min)	- 41	- 42	- 43	- 44	aprox. (kg)
					Rango de presión controlable prop. (bar) p _{min} ... p _{máx} ¹⁾				
para conexión en línea		41	G 1/4	16	5 ... 180	5 ... 290	5 ... 440	5 ... 700	1,2
		42	G 3/8						
		51	G 1/4	16	5 ... 110	5 ... 180	5 ... 270	5 ... 450	1,2
		52	G 3/8	40					1,3
		53	G 1/2	60					
		62	G 3/8	60	5 ... 80	5 ... 130	5 ... 190	5 ... 320	1,2
		63	G 1/2	75					1,3

Datos eléctricos (bobina proporcional)

Tensión nominal U_N	12V DC	24V DC
Resistencia de bobina $R_{20} \pm 5\%$	6 Ω	24 Ω
Corriente en frío I_{20}	2 A	1 A
Corriente nominal I_N	1,26 A	0,63 A
Potencia en frío P_{20}	24 W	24 W
Potencia nominal P_N	9,5 W	9,5 W
Tiempo de conexión relativo	100% ED (temp. de referencia $\vartheta_{11} = 50^\circ\text{C}$)	
Conexión eléctrica	Industriestandard (11 mm de distancia entre contactos)	
Tipo de protección DIN 40050	IP 65 (IEC 60529) (en caso de conector montado según lo prescrito)	
Frecuencia Dither requerida	60 ... 150 Hz	
Amplitud Dither	20 ... 40% de I_{20}	

Valor de referencia para la resistencia en frío



Amplificador Eletrónico TECNORD EC-PWM-A1-MPC1-P

DESCRIPTION

Microprocessor-based PWM electronic driver for remote control of a single proportional solenoid valve.

OPERATION

The EC-PWM-A1-MPC1-P proportional valve driver receives a command signal from a potentiometer, PLC or other control systems, and supplies a solenoid with a PWM (Pulse Width Modulated) current proportional to the input signal. An auxiliary power supply (+5 V) is provided as a reference for the command signal.

Adjustments of "Imin/Imax", "Ramp time" and "Dither" can be carried out directly from a key-pad integrated on the front panel.

Mounting option: panel-mounting style with INPUT/OUTPUT multi-core sheathed cable.

FEATURES

- The current in the solenoid is independent from any change in the coil resistance or in the supply voltage.
- The inherent superimposed dither frequency helps to overcome friction and stiction effects in the controlled device.
- Power supply line is protected against reversed polarity and load dump.
- Input is protected against short circuits to GND and power supply.
- Output is protected against short circuits, over-current and over-temperature.
- The EC-PWM-A1-MPC1 is completely potted.
- Electro Magnetic Compatibility (EMC): EN 61000-6-2 (Immunity), EN 61000-6-3 (Emissions).

SPECIFICATIONS

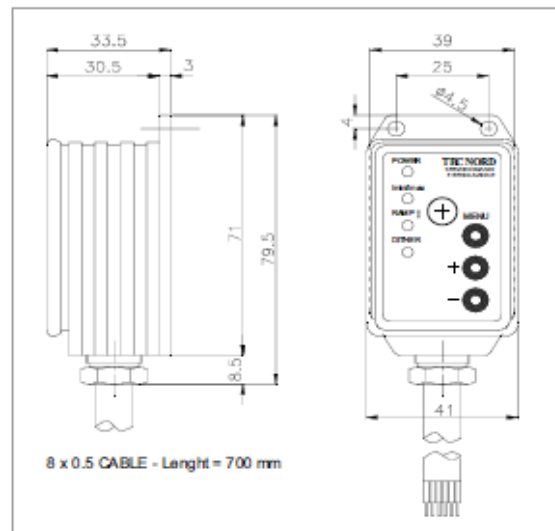
- Operating voltage: 8.5 ± 30 VDC
- Max current consumption: 100 mA (no load applied)
- Operating temperature: $-25^{\circ}\text{C} / +85^{\circ}\text{C}$
- Input resistance $0 \div 5\text{V}$ voltage input: 560 KOhms
- $0 \div 10\text{V}$ voltage input: 1 MOhm
- $0 \div 20\text{mA}$ current input: 250 Ohms
- Degree of protection: IP 67
- Analog input signals available: $0 \div 5\text{V}$
 $0 \div 10\text{V}$
 $0 \div 20\text{mA}$
- Typical ctrl pot resistance: $2 \div 47\text{ k}\Omega$
- Current output range (PWM): $100 \div 3000\text{ mA}$
- PWM dither frequency: $55 \div 200\text{ Hz}$ (adjustable)
- Ramp time: $0.05 \div 5\text{ s}$ (adjustable)
- Max. current from auxiliary +5 V: 15 mA

APPLICATIONS

- Primary applications are the control of proportional pressure reducing valves and proportional flow regulators to attain smooth acceleration/deceleration and fine-metering control of electro-hydraulic functions.



DIMENSIONS

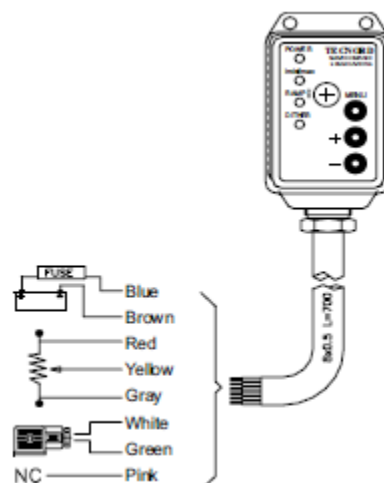


Wiring Colours

- Blue +Battery
- Brown -Battery (GND)
- Red Command signal supply (+5 V)
- Yellow Command signal in
- Gray Command signal GND
- White Proportional coil output
- Green Proportional coil current feedback line
- Pink Spare / Not used

Note

A 5A fuse must be inserted on the BLUE wire connecting the PWM driver to the power source.

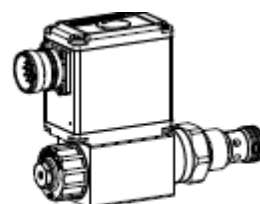


Estrangulador proporcional WANDEFLUH DOP-PM22-10G24/M-E A1 -D1-

Proportional throttle valve

Screw-in cartridge construction

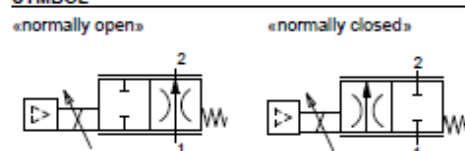
- Integrated amplifier electronics
- Direct operated, not pressure compensated
- $Q_{max} = 32 \text{ l/min}$
- $Q_{Nmax} = 25 \text{ l/min}$
- $p_{max} = 350 \text{ bar}$



GENERAL SPECIFICATIONS

Description	Direct operated proportional throttle valve with integrated electronics
Construction	Screw-in cartridge for cavity acc. to ISO 7789
Operations	Proportional solenoid, wet pin push type, pressure tight
Mounting	Screw-in thread M22x1,5
Ambient temperature	-20...+65 °C (typical) (The upper temperature limit is a guideline value for typical applications, in individual cases it may also be higher or lower. The electronics of the valve limit the power in case of a too high electronics temperature. More detailed information can be obtained from the operating instructions «DSV».)
Mounting position	any, preferably, horizontal
Fastening torque	$M_o = 50 \text{ Nm}$ for screw-in cartridge $M_o = 5 \text{ Nm}$ for knurled nut
Weight	$m = 0,95 \text{ kg}$
Flow direction	1 → 2

SYMBOL



HYDRAULIC SPECIFICATIONS

Fluid	Mineral oil, other fluids on request
Contamination	ISO 4406:1999, classe 18/16/13
efficiency	(Required filtration grade 8 6...10 ≥ 75) see data sheet 1.0-50/2
Viscosity range	12 mm²/s...320 mm²/s
Fluid temperature	-20...+70 °C
Peak pressure	$p_{max} = 350 \text{ bar}$
Nominal volume flow	$Q_n = 6,3 \text{ l/min}$, 10 l/min, 25 l/min (at $\Delta p_n = 10 \text{ bar}$)
Max. volume flow	$Q_{max} = 32 \text{ l/min}$
Leakage volume flow	see characteristic
Hysteresis	≤ 8 %

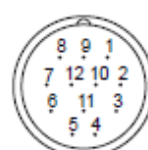
ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Protection class	IP 67 acc. to EN 60 529 with suitable connector and closed electronics housing
Supply voltage	12 VDC or 24 VDC
Ramps	adjustable
Parameterisation	via fieldbus or USB
Interface	USB (Mini B) for parameterisation with «PASO» under the closing screw of the housing cover, Preset ex-works
Analog interface:	
Device receptacle (male) M23, 12-poles	
Mating connector	Plug (female), M23, 12-poles (not incl. in delivery)
Preset value signal	Input voltage / current as well as signal range can be set by software
Fieldbus interface:	
Device receptacle supply (male)	M12, 4-poles
Mating connector	Plug (female), M12, 4-poles (not incl. in delivery)
Device receptacle CANopen (male)	M12, 5-poles (acc. to DRP 303-1)
Mating connector	Plug (female), M12, 5-poles (not incl. in delivery)

CONNECTOR WIRING DIAGRAM

Analog interface:

Device receptacle (male) X1



- 1 = Supply voltage +
- 2 = Supply voltage 0 VDC
- 3 = Stabilised output voltage
- 4 = Preset value voltage +
- 5 = Preset value voltage -
- 6 = Preset value current +
- 7 = Preset value current -
- 8 = Reserved for extensions
- 9 = Reserved for extensions
- 10 = Enable control (Digital input)
- 11 = Error signal (Digital output)
- 12 = Chassis

Preset value voltage (PIN 4/5) resp. current (PIN 6/7) are selected with set-up and diagnosis software PASO.
Factory setting: Voltage (0...+10 V), (PIN 4/5)

Fieldbus interface:

Device receptacle supply (male) X1



MAIN

- 1 = Supply voltage +
- 2 = Reserved for extensions
- 3 = Supply voltage 0 VDC
- 4 = Chassis

Device receptacle CANopen (male) X3



CAN

- 1 = not connected
- 2 = not connected
- 3 = CAN Gnd
- 4 = CAN High
- 5 = CAN Low

Device receptacle Profibus (female) X3

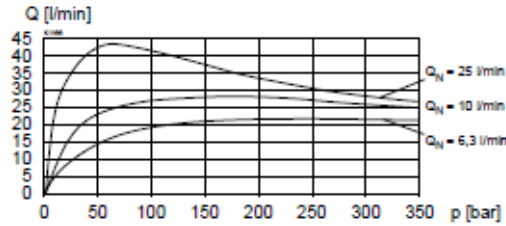


PROFIBUS

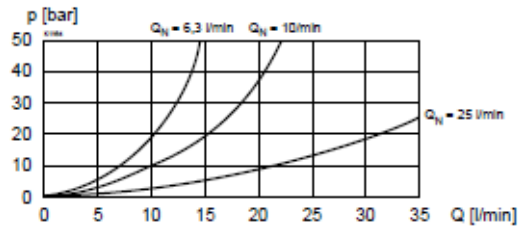
- 1 = VP
- 2 = Rx/D/TxD - N
- 3 = DGND
- 4 = Rx/D/TxD - P
- 5 = Shield

CHARACTERISTICS Oil viscosity $\nu = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$

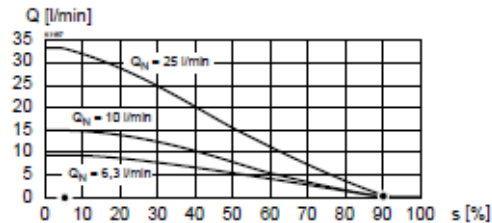
$Q = f(p)$ Volume flow pressure characteristics ($i = i_0$) normally open



$\Delta p = f(Q)$ Pressure drop volume flow characteristics ($i = i_0$) normally open



$Q = f(s)$ Volume flow adjustment characteristics ($p_1 - p_2 = 20 \text{ bar}$) (s corresponds to preset value signal) normally open

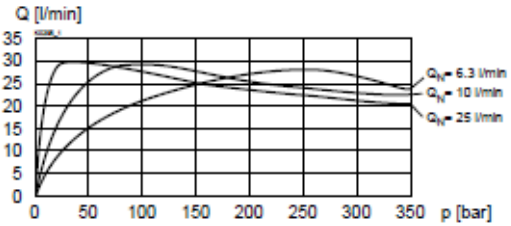


Factory settings:

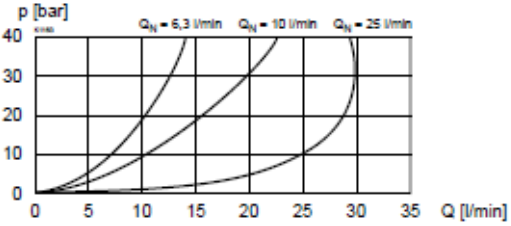
Dither set for optimal hysteresis

- = Deadband: Solenoid switched off with command signal $< 5\%$
- = Closing point: at 90%

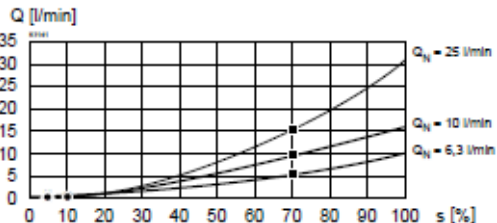
$Q = f(p)$ Volume flow pressure characteristics ($i = i_0$) normally closed



$\Delta p = f(Q)$ Pressure drop volume flow characteristics ($i = i_0$) normally closed



$Q = f(s)$ Volume flow adjustment characteristics ($p_1 - p_2 = 20 \text{ bar}$) (s corresponds to preset value signal) normally closed



Factory settings:

Dither set for optimal hysteresis

- = Deadband: Solenoid switched off with command signal $< 5\%$
- = Opening point: at 10%
- = Flow $\Delta p = 30 \text{ bar}$ with 70% value signal
 15,0 l/min for $Q_N = 25 \text{ l/min}$
 10,0 l/min for $Q_N = 10 \text{ l/min}$
 5,2 l/min for $Q_N = 6,3 \text{ l/min}$

ELECTROVÁLVULA 2/2 PARA LÍQUIDOS: EMC ESP-10

ESP - 10 - E2

ESP Series

Port size
 10: 3/8"
 15: 1/2"
 20: 3/4"
 25: 1"
 35: 1-1/4"
 40: 1-1/2"

Voltage
 E1: AC110V
 E2: AC220V
 E3: AC380V
 E4: DC24V
 E5: DC12V
 E6: AC36V
 E7: AC24V
 E8: DC110V
 E9: DC48V
 E10: DC36V

Order example:

* ESP series, 2 position, 2 port, AC110V, 3/8" port size, Normal Close, Model: ESP-10E1



Specifications:

Model	ESP-10	ESP-15	ESP-20	ESP-25	ESP-35	ESP-40
Working Medium	Air, Gas, Water, Liquid					
Working Temperature(°C)	0-65					
Working Style	Diaphragm					
Orifice(mm)	15	15	25	25	40	40
Joint Size	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"
CV Valve						
Working Pressure(Bar)	0.5-7					
Max. Pressure(Bar)	9					
Valve Body	Reinforce Nylon					

VÁLVULA PENUMÁTICA REGULADORA DE PRESSÃO PROPORCIONAL: PARKER P31PA

Global Modular Electronic Proportional Regulators

- Very fast response times
- Accurate output pressure
- Micro parameter settings
- Selectable I/O parameters
- Quick, full flow exhaust
- LED display indicates output pressure
- No air consumption in steady state
- Multiple mounting options
- Protection to IP65
- P31P flows to 19 dm³/s (40 SCFM)
- P32P flows to 57 dm³/s (120 SCFM)



P31PA Series
Bottom exhaust



P32PA Series
Bottom exhaust

Technical information

Working medium

Compressed air or inert gasses, filtered to 40µ.

Supply pressure

Max. operating pressure:

2 bar unit:3 bar (43.5 PSIG)

10 bar unit:10.5 bar (152 PSIG)

Min. Operating Pressure P2 pressure + 0.5 bar (7.3 PSIG)

Pressure control range

Available in three pressure ranges, 0-2 bar (0-29 PSIG), 0-7 bar (0-101.5 PSIG) or 0-10 bar (0-145 PSIG). Pressure range can be changed through the software at all times. (parameter 19)

Temperature range

0°C up to +50°C (32°F up to 122°F)

Weights:

P31P = 0.291 kg (0.64 lbs)

P32P = 0.645 kg (1.42 lbs)

Air consumption

No consumption in stable regulated situation.

Display

The regulator is provided with a digital display, indicating the output pressure, either in bar or PSIG.

The factory setting is as indicated on the label, can be changed through to software at all times (parameter 14)

Supply voltage

24 VDC +/- 10%

Power consumption

Max. 1.1W with unloaded signal outputs

Control signals

The electronic pressure regulator can be externally controlled through an analogue control signal of either 0-10V or 4-20mA. (parameter 4).

Output signals

As soon as the output pressure is within the signal band a signal is given of 24VDC, PNP Ri = 1 kOhm. Outside the signal band this connection is 0V.

Connections

(In case of output signal (Option D))

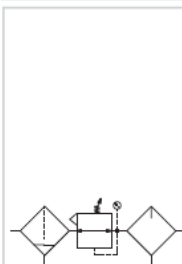
Central M12 connector 4-pole

The electrical connections are as follows:

Pin No.		Function	Color
1	24 V	Supply	Brown
2	0 to 10 V	Control Signal Ri = 100k Ω	White
	4 to 20mA	Control Signal Ri = 500 Ω	
3	0 V (GND)	Supply	Blue
4	24 V	Alarm Output Signal	Black

FILTRO REGULADOR UNIVER HZE 1D15GM

Filter regulator + Lubricator



Size	0	1	2
Part No.	HZE0D08GM	HZE1D10GM	HZE2D15GM
Connections	G1/4	G3/8	G1/2
Filtration rate (µm)	5	5	5
Nominal flow rate (NI/min) ^(A)	600	2800	4300
Max inlet pressure (bar-MPa-psi)	10 - 1 - 145	10 - 1 - 145	10 - 1 - 145
Fluid	compressed air	compressed air	compressed air
Pressure adjustment - relieving version (bar)	0,5 ÷ 8,5	0,5 ÷ 8,5	0,5 ÷ 8,5
Pressure gauge (standard supplied)	HZ9464G	HZ9464G	HZ9464G
Pressure gauge adaptor	G1/8 ^(B)	G1/8 ^(C)	G1/8 ^(C)
Condensation drain capacity (cm ³)	12	45	80
Condensation drain	manual	manual	manual
Recommended oil	ISO VG 32	ISO VG 32	ISO VG 32
Min. working flow rate (NI/min)	25	30	65

CONSOLA SCHNEIDER ELECTRIC HMI GTO 5310



Main

Range of product	Magelis GTO
Product or component type	Advanced touchscreen panel
Display colour	65536 colours
Display size	10,4 inch
Supply	External source
Battery type	Lithium battery for internal RAM, autonomy: 100 days, charging time = 5 d, battery life = 10 yr

Complementary

Terminal type	Touchscreen display
Display type	Backlit colour TFT LCD
Display resolution	640 x 480 pixels VGA
Touch sensitive zone	1024 x 1024
Touch panel	Resistive film, 1000000 cycles
Backlight lifespan	50000 hours (white) at 25 °C
Brightness	16 levels - control by software 16 levels - control by touch panel
Character font	ASCII Chinese (simplified Chinese) Japanese (ANK, Kanji) Korean Taiwanese (traditional Chinese)
[Us] rated supply voltage	24 V DC
Supply voltage limits	19.2...28.8 V
Inrush current	<= 30 A
Power consumption in W	<= 8 W (when backlight is dimmed) <= 7 W (when backlight is OFF) <= 12 W (when power is not supplied to external devices) <= 17 W
Local signalling	SD card LED (green)/faded card is not inserted or is not being accessed SD card LED (green)/steady card is inserted COM2 LED (yellow)/faded no data transmission COM2 LED (yellow)/steady data is being transmitted Status LED (clear)/faded power supply (OFF) Status LED (red)/steady power supply (ON) Status LED (orange)/flashing software starting up Status LED (green)/steady operating Status LED (green)/steady offline
Software designation	Vijeo Designer configuration software >= V6.1
Memory description	96 MB flash (EPROM)
Data backed up	512 kB internal RAM (SRAM)
Data storage equipment	SDHC card <= 32 GB SD card <= 32 GB
Integrated connection type	Ethernet RJ45, interface: IEEE 802.3 Ethernet RJ45, interface: 10BASE-T/100BASE-TX USB 2.0 port mini B USB USB 2.0 port USB type A COM2 serial link RJ45, interface: RS485, transmission rate: 187.5 kbps compatible with Siemens MPI COM2 serial link RJ45, interface: RS485, transmission rate: 2400...115200 bps COM1 serial link SUB-D 9, interface: RS232C, transmission rate: 2400...115200 bps
Product mounting	Flush mounting
Fixing mode	By 4 screw clamps
Front material	PPT
Enclosure material	PPT
Type of cooling	Natural convection
Width	272.5 mm
Height	214.5 mm
Depth	57 mm

AUTÓMATO SCHNEIDER ELECTRIC MODICOM M258 – TM258LF42DT



Main

Range of product	Modicom M258
Product or component type	Logic controller
Product specific application	-
Discrete I/O number	42
Discrete output number	4 for fast output 12 for output

Complementary

Discrete input number	4 for regular input 12 for input 10 for fast input
Discrete input logic	Source for input Sink for regular input Sink for fast input
Discrete input voltage	24 V
Discrete input voltage type	DC
Voltage state1 guaranteed	>= 15 V for regular input >= 15 V for fast output >= 15 V for fast input
Current state 1 guaranteed	>= 2 mA for regular input >= 2 mA for fast output >= 2 mA for fast input
Voltage state 0 guaranteed	<= 5 V for regular input <= 5 V for fast output <= 5 V for fast input
Current state 0 guaranteed	<= 1,5 mA for regular input <= 1,5 mA for fast output <= 1,5 mA for fast input
Discrete input current	4 mA for regular input 4 mA for fast input
Input impedance	6 kOhm for regular input 6 kOhm for fast input
Configurable filtering time	4 ms for fast input/regular input and fast output 12 ms for fast input/regular input and fast output 1,5 ms for fast input/regular input and fast output 0 ms for fast input/regular input and fast output
Anti bounce filtering	2 µs...4 ms (configurable)/fast input/regular input and fast output
Cable length	<= 30 m regular input <= 30 m fast output <= 30 m fast input
Isolation between channels and internal logic	500 Vrms AC
Isolation between channels	None
Discrete output logic	Source
Discrete output voltage	24 V DC
Output voltage limits	19,2...28,8 V
Discrete output current	4 mA for fast output

Automação de uma Banca de Ensaio de Mangueiras Hidráulicas a Elevada Pressão

[Us] rated supply voltage	24 V DC for main supply 24 V DC for I/O power segment 24 V DC for embedded expert modules power
Supply voltage limits	20,4...28,8 V
[In] rated current	10 A for I/O power segment 0,26 A for main supply 0,04 A for embedded expert modules power
Peak current	1,2 A during > 70 s main supply ≤ 50 kA during ≤ 150 s embedded expert modules power ≤ 25 kA during ≤ 500 s I/O power segment ≤ 100 kA during ≤ 70 s main supply
Power consumption	≤ 13,03 W
Execution time per instruction	Boolean: 22 ns
Memory description	Internal RAM 64 MB Flash 128 MB
Realtime clock	Without any user calibration realtime clock, drift: < 30 s/month at 25 °C With user calibration realtime clock, drift: ≤ 6 s/month
Data backed up	Variables of type retain and retain persistent CR2477M Renata, 1.5 years autonomy
Integrated connection type	1 isolated serial link USB type A, 480 Mbit/s 1 isolated serial link mini B USB, 480 Mbit/s 1 isolated serial link female RJ45, Modbus master/slave RTU/ASCII or character mode ASCII (RS232/RS485), 300...115200 bps 1 isolated serial link female RJ45, Ethernet Modbus TCP/IP slave (10BASE-T/100BASE-TX) 1 CANopen male SUB-D 9, CANopen master
Transmission rate	800 kbit/s for bus length of 25 m, CANopen 20 kbit/s for bus length of 2500 m, CANopen 1000 kbit/s for bus length of 4 m, CANopen 10 kbit/s for bus length of 5000 m, CANopen 500 kbit/s for bus length of 100 m, CANopen 50 kbit/s for bus length of 1000 m, CANopen 250 kbit/s for bus length of 250 m, CANopen 125 kbit/s for bus length of 500 m, CANopen
Counting input number	8 counting input(s) 200 kHz
Local signalling	1 LED red for BATT (battery status) 1 LED green/yellow for Eth LA (Ethernet activity) 1 LED green/red for USB host 1 LED green/red for RUN/MS (module status) 1 LED green/red for Eth ST (Ethernet status) 1 LED green/red for Eth NS (Ethernet network status) 1 LED green/red for APP1 1 LED green/red for APP0 1 LED for MBS COM 1 LED for CAN0 STS 1 LED per channel for I/O state
Marking	CE
Mounting support	Symmetrical DIN rail
Width	175 mm
Height	99 mm
Depth	85 mm
Product weight	0,55 kg

MÓDULO TM5SAI2PH



Main

Range of product	Modicon TM5
Product or component type	Analog input module
Analogue input number	2
Analogue input type	Temperature probe - 200...850 °C Pt 100/Pt 1000
Analogue input resolution	16 bits

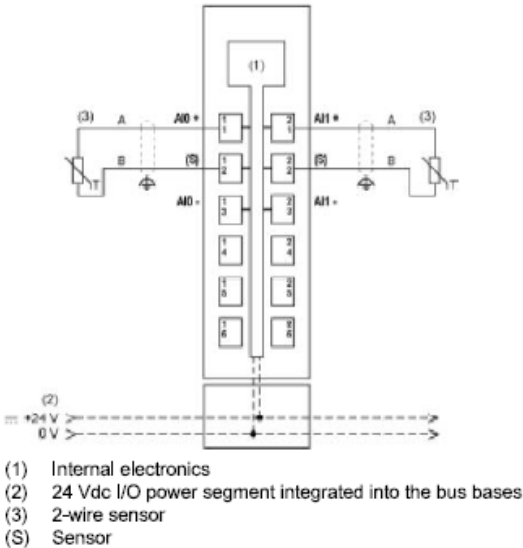
Complementary

Range compatibility	Modicon LMC058 Modicon M258
Product compatibility	Motion controller Logic controller
Measurement resolution	0.1 °C
Colour	White
Measurement error	< 0,037 % of full scale, - 200...850 °C, Pt 100/Pt 1000 at 25 °C
Temperature coefficient	0,004 %FS/°C, analogue input type: temperature probe
Non-linearity	0,00015 %FS, analogue input type: temperature probe
Type of cable	Shielded cable
Isolation	No insulation between channels 500 Vrms AC insulation between channel and bus
Supply	Internal
[Us] rated supply voltage	24 V DC -15...20 %
Common mode rejection	>= 95 dB
Local signalling	2 LEDs green for input status 1 LED red for power supply 1 LED green for power supply
Current consumption	46 mA 24 V DC input/output 2 mA 5 V DC bus
Power dissipation in W	<= 1.11 W
Marking	CE
Product weight	0.025 kg

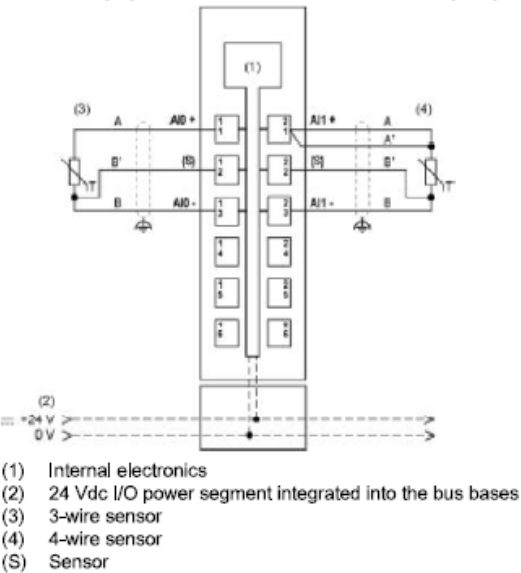
Electronic Module 2AI PT100/PT1000 16 Bits

Wiring Diagrams

The following figure shows the 2-wire wiring diagram:



The following figure shows the 3-wire and 4-wire wiring diagram:



MÓDULO TM5SAI4H



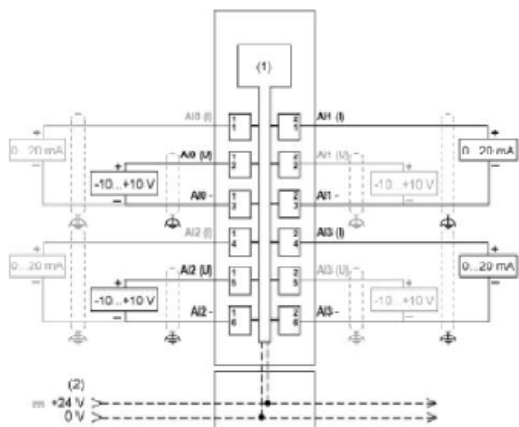
Main

Range of product	Modicon TM5
Product or component type	Analog input module
Analogue input number	4
Analogue input type	Voltage +/- 10 V, differential Current 0...20 mA, differential
Analogue input resolution	15 bits 0...20 mA 15 bits + sign +/- 10 V





Complementary

Range compatibility	Modicon LMC058 Modicon M258
Product compatibility	Motion controller Logic controller
Measurement resolution	610 nA, 0...20 mA 305 µV, +/- 10 V
Colour	White
Input impedance	>= 20 mOhm voltage
Load impedance ohmic	<= 400 Ohm (current)
Sampling duration	50 µs
Measurement error	< 0,08 % of full scale, 0...20 mA, 0...20 mA at 25 °C < 0,08 % of full scale, +/- 10 V, +/- 10 V at 25 °C
Temperature coefficient	0,01 %FS/°C
Non-linearity	< 0,015 %FS, analogue input type: current < 0,01 %FS, analogue input type: voltage
Type of cable	Shielded cable
Isolation	No insulation between channels 500 Vrms AC insulation between channel and bus
Supply	Internal
[Us] rated supply voltage	24 V DC -15...20 %
Common mode rejection	>= 70 dB
Local signalling	4 LEDs green for input status 1 LED red for power supply 1 LED green for power supply
Current consumption	63 mA 24 V DC input/output 2 mA 5 V DC bus
Power dissipation in W	<= 1.51 W
Marking	CE
Product weight	0,025 kg

Wiring Diagram



Wire Sizes to Use with the Removable Spring Terminal Blocks

mm in				
mm ²	0,08...2,5	0,25...2,5	0,25...1,5	2 x 0,25...2 x 0,75
AWG	26...14	24...14	24...16	2 x 24...2 x 18

- (1) Internal electronics
- (2) 24 Vdc I/O power segment integrated into the bus bases
- (I) Current
- (U) Voltage

MÓDULO TM5SAO4L



Main

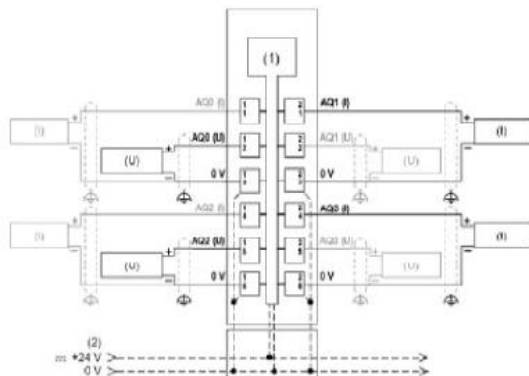
Range of product	Modicon TM5
Product or component type	Analog output module
Analogue output number	4
Analogue output resolution	12 bits 0...20 mA 12 bits + sign +/- 10 V

Complementary

Range compatibility	Modicon LMC058 Modicon M258
Product compatibility	Motion controller Logic controller
Analogue output type	Voltage +/- 10 V Current 0...20 mA
Measurement resolution	9.766 µA, 0...20 mA 4.882 mV, +/- 10 V
Colour	White
Response time	<= 1 ms
Output impedance	>= 1 Ohm
Load impedance ohmic	200...500 Ohm (current)
Sampling duration	300 µs
Measurement error	< 0,08 % of full scale, 0...20 mA, 0...20 mA at 25 °C < 0,08 % of full scale, +/- 10 V, +/- 10 V at 25 °C
Temperature coefficient	0,015 %FS/°C, analogue output type: voltage 0,015 %FS/°C, analogue output type: current
Non-linearity	< 0,005 %FS, analogue output type: voltage < 0,005 %FS, analogue output type: current
Type of cable	Shielded cable
Isolation	No insulation between channels 500 Vrms AC insulation between channel and bus
Supply	Internal
[Us] rated supply voltage	24 V DC -15...20 %
Local signalling	4 LEDs yellow for output status 1 LED red for power supply 1 LED green for power supply
Current consumption	63 mA 24 V DC input/output 2 mA 5 V DC bus
Power dissipation in W	<= 1.51 W
Marking	CE

Electronic Module 4AO ±10V/0-20mA 12 Bits

Wiring Diagram



Wire Sizes to Use with the Removable Spring Terminal Blocks

mm ² mm ²	0.08...2.5	0.25...2.5	0.25...1.5	2 x 0.25...2 x 0.75
AWG	26...14	24...14	24...16	2 x 24...2 x 18

- (1) Internal electronics
- (2) 24 Vdc I/O power segment integrated into the bus bases
- (I) Current
- (U) Voltage

MÓDULO TM5SDO4T



Main

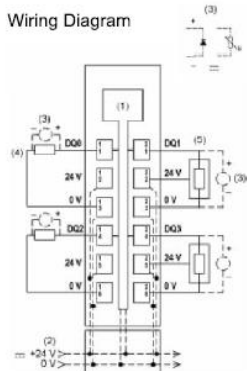
Range of product	Modicon TM5
Product or component type	Discrete output module
Discrete output number	4
Discrete output type	Transistor

Complementary

Range compatibility	Modicon LMC058 Modicon M258
Product compatibility	Motion controller Logic controller
Output voltage	24 V DC
Output voltage limits	20.4...28.8 V
Discrete output logic	Source
Current per channel	0,5 A
Current per output common	<= 2 A
Colour	White
Peak output current	<= 12 A
Switching frequency	<= 500 Hz resistive load
Response time	<= 300 µs from state 1 to state 0 for output <= 300 µs from state 0 to state 1 for output
Leakage current	5 µA when switched off
Protection type	Overload protection Reverse polarity protection Short-circuit protection
Isolation	No insulation between channels 500 Vrms AC insulation between channel and bus
Voltage drop	<= 2 V at 500 mA for sensor supply <= 0.3 V at 500 mA for output
Supply current for sensors	500 mA
Current consumption	32 mA 5 V DC bus 20 mA 24 V DC input/output
Power dissipation in W	<= 0.86 W
Local signalling	4 LEDs yellow for output status 1 LED red for power supply 1 LED green for power supply
Electrical connection	3 wires
Marking	CE
Product weight	0,025 kg

Electronic Module 4DO 24 Vdc Tr 0.5 A 3 Wires

Wiring Diagram



Wire Sizes to Use with the Removable Spring Terminal Blocks

mm in	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
mm ²	0.08...2.5	0.25...2.5	0.25...1.5	2 x 0.25...2 x 0.75	2 x 0.25...2 x 1.0
AWG	28...14	24...14	24...16	2 x 24...2 x 18	2 x 24...2 x 18

- (1) Internal electronics
- (2) 24 Vdc I/O power segment integrated into the bus bases
- (3) Inductive load protection
- (4) 2-wire load
- (5) 3-wire load

FONTE 24VDC SCHNEIDER ELECTRIC



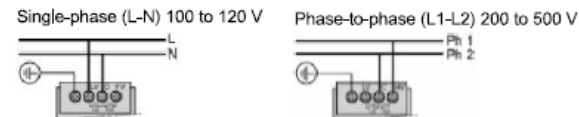
Main

Range of product	Phaseo
Product or component type	Power supply
Power supply type	Regulated switch mode
Input voltage	100...120 V AC single phase, terminal(s): N-L1 200...500 V AC phase to phase, terminal(s): L1-L2
Output voltage	24 V DC
Rated power in W	240 W
PFC filter	With PFC filter conforming to IEC 61000-3-2
Power supply output current	10 A
Output protection type	Against overload, protection technology: manual or automatic reset Against overvoltage, protection technology: 30...32 V, manual reset Against short-circuits, protection technology: manual or automatic reset Against undervoltage, protection technology: tripping if $U < 21,6$ V Thermal, protection technology: automatic reset
Ambient air temperature for operation	-25...60 °C without derating

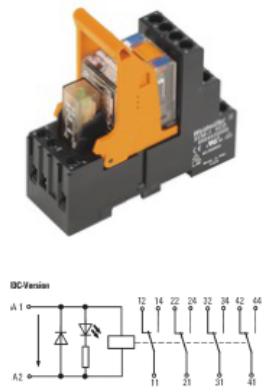
Complementary

Input voltage limits	170...550 V 85...132 V
Network frequency	47...63 Hz
Inrush current	≤ 30 A for 2 ms
Cos phi	0,68 at 240 V 0,69 at 120 V
Efficiency	> 87 %
Output voltage limits	24...28,8 V adjustable
Power dissipation in W	31 W
Line and load regulation	1...3 %
Residual ripple	≤ 200 mV
Holding time	≥ 120 ms at 400 V ≥ 20 ms at 100 V ≥ 40 ms at 240 V
Permissible temporary current boost	1,5 x In for 4 s
Connections - terminals	Removable screw terminal block for diagnostic relay, connection capacity: 2 x 2,5 mm ² Screw type terminals for input connection, connection capacity: 3 x 0,5...3 x 4 mm ² AWG gauge22...12 Screw type terminals for input ground connection, connection capacity: 1 x 0,5...1 x 4 mm ² AWG gauge22...12 Screw type terminals for output connection, connection capacity: 4 x 0,5...4 x 4 mm ² AWG gauge22...12 Screw type terminals for output ground connection, connection capacity: 1 x 0,5...1 x 4 mm ² AWG gauge22...12
Marking	CE
Mounting support	35 x 15 mm symmetrical DIN rail 35 x 7,5 mm symmetrical DIN rail
Operating position	Vertical
Output coupling	Parallel Series

Line Supply Wiring Diagram

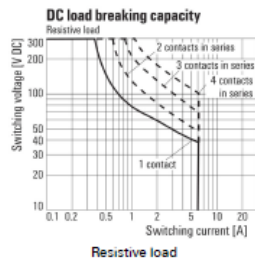


RELÉS WEIDMULLER

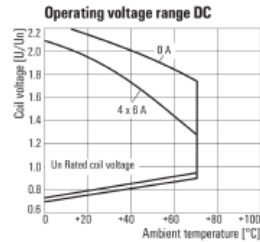


RIDERSERIES RCM
RCMKIT-I 24VDC 4CO LD

DC load limit curve



DC operational voltage range



Dimensions and weights

Width	28 mm	Height	77 mm
Depth	79 mm	Net weight	99.9 g

Temperatures

Humidity	40 °C / 93 % rel. humidity, no condensation	Operating temperature	-40 °C...70 °C
Storage temperature	-40 °C...70 °C		

Input

Rated control voltage	24 V DC	Rated current DC	31.3 mA
Power rating	740 mW	Pull-in/drop-out voltage, typ.	18 V / 2.4 V DC
Coil resistance	777 $\Omega \pm 10\%$	Status indicator	Green LED, Mechanical
Protective circuit	Integrated free-wheel diode		

Output

Rated switching voltage	250 V AC	Max. switching voltage, AC	240 V
Continuous current	6 A	Inrush current	12 A / 20 ms
AC switching capacity (resistive), max.	1500 VA	DC switching capacity (resistive), max.	144 W @ 24 V
Switch-on delay	≤ 15 ms	Switch-off delay	≤ 10 ms
Min. switching power	100 mA / 5 V, 10 V / 10 mA, 24 V / 1 mA	Max. switching frequency at rated load	0.1 Hz

Contact data

No. of contacts	4	Contact design	CO contact with test button
Contact material	AgNi 90/10	Mechanical service life	AC coil 20×10^6 Switching cycles, DC coil 30×10^6 Switching cycles

ROUTER TP-LINK TL-SG-1005G



5/8-Port Gigabit Desktop Switch TL-SG1005D、TL-SG1008D

Specifications:

	TL-SG1005D	TL-SG1008D
Standards	IEEE 802.3 IEEE 802.3u IEEE 802.3ab IEEE 802.3x	IEEE 802.3 IEEE 802.3u IEEE 802.3ab IEEE 802.3x
Network Ports	5*10/100/1000Mbps RJ45 Port	8*10/100/1000Mbps RJ45 Port
Auto Negotiation	YES	YES
Auto MDI/MDIX	YES	YES
Systems	Windows 2000/XP/Vista/7 Linux MAC OS	Windows 2000/XP/Vista/7 Linux MAC OS
Forwarding Mode	Store and Forward	Store and Forward
Switch Capacity	10 Gbps	16 Gbps
MAC Address Table	8 K	8 K
Jumbo Frame	15 K	15 K
Flow Control	YES	YES
Power Saving	Up to 75%	Up to 80%
LED	Power-, Link/Act	Power-, Link/Act
AC Power	9V / 0.6A	9V / 0.85A
Dimensions	165*108*28mm	165*108*28mm
Operating Temperature	0°C~40°C (32°F~104°F)	0°C~40°C (32°F~104°F)
Storage Temperature	-40°C~70°C (-40°F~158°F)	-40°C~70°C (-40°F~158°F)
Operating Humidity	0%~90% non-condensing	0%~90% non-condensing
Storage Humidity	5%~90% non-condensing	5%~90% non-condensing
Ordering Information	5-port gigabit desktop switch, green	8-port gigabit desktop switch, green

CAMERA LEVEL ONE FCS 3065

Specifications

System Specifications

Standards & Protocols:

IEEE 802.3 10-BASE-T, Ethernet
IEEE 802.3u 100-BASE-TX, Fast Ethernet
IEEE 802.3af Power over Ethernet (PoE)
IEEE 802.1X Network Access Control
TCP, UDP, HTTP, HTTPS, DHCP, PPPoE, RTP, RTSP
IPv6, DNS, DDNS, NTP, ICMP, ARP, IGMP, SMTP, FTP,

Image Sensor:

5-Megapixel 1/3.2" Progressive Scan CMOS

Connectors and Cabling:

1 x RJ-45 10/100 Mbps PoE port

Modularity:

1 x MicroSDHC/ MicroSDXC card slot

Button:

Reset Button

Indicator:

Power

Lens:

Fixed focal, Fixed iris, Fixed focus, f1.9mm, F2.8

Shutter Time:

1/5 ~ 1/10,000 sec

Angle of View:

126.9° (overview area), 77.4° (high detail area)

Pan/Tilt/Zoom:

Digital Zoom to very high detail available on Software

Video Compression:

H.264 / MJPEG

Resolution:

5M(2592 x 1944)

Video Format:

RAW

Audio Compression:

G.711

Power:

Power Consumption: PoE Class 1 (IEEE802.3af) / 2.91 W

Power Input: 802.3af PoE



POE INJECTOR TP-LINK TL-POE150S

PoE Injector
TL-POE150S

Features:

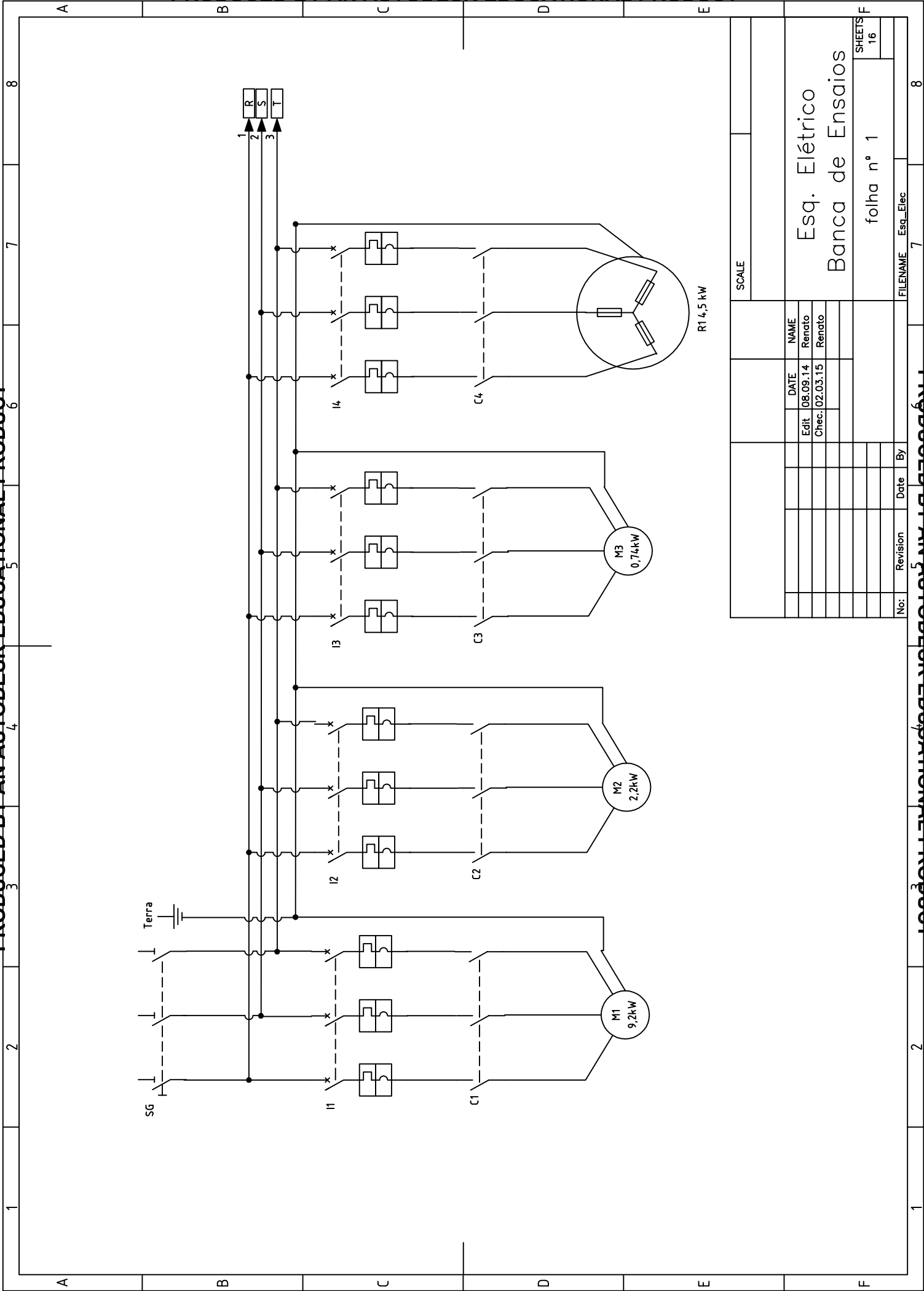
- Complies with IEEE802.3af standard
- Cost Saving, no power cabling for Ethernet network device
- Delivers power and data over the single cable up to 100 meters
- Advanced Auto-Sensing Algorithm enables providing power with 802.3af PD
- Supports power classification, Auto-determine the necessary power requirements
- High Safety with Short Circuit Protection
- Plug & Play installation, requires no configuration
- External 48VDC power supply

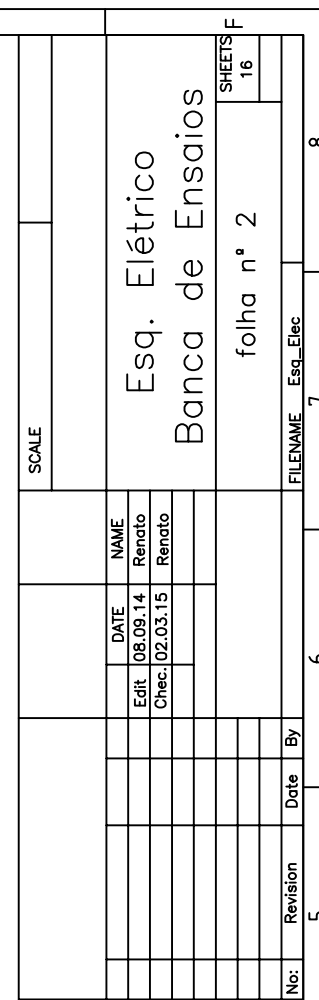


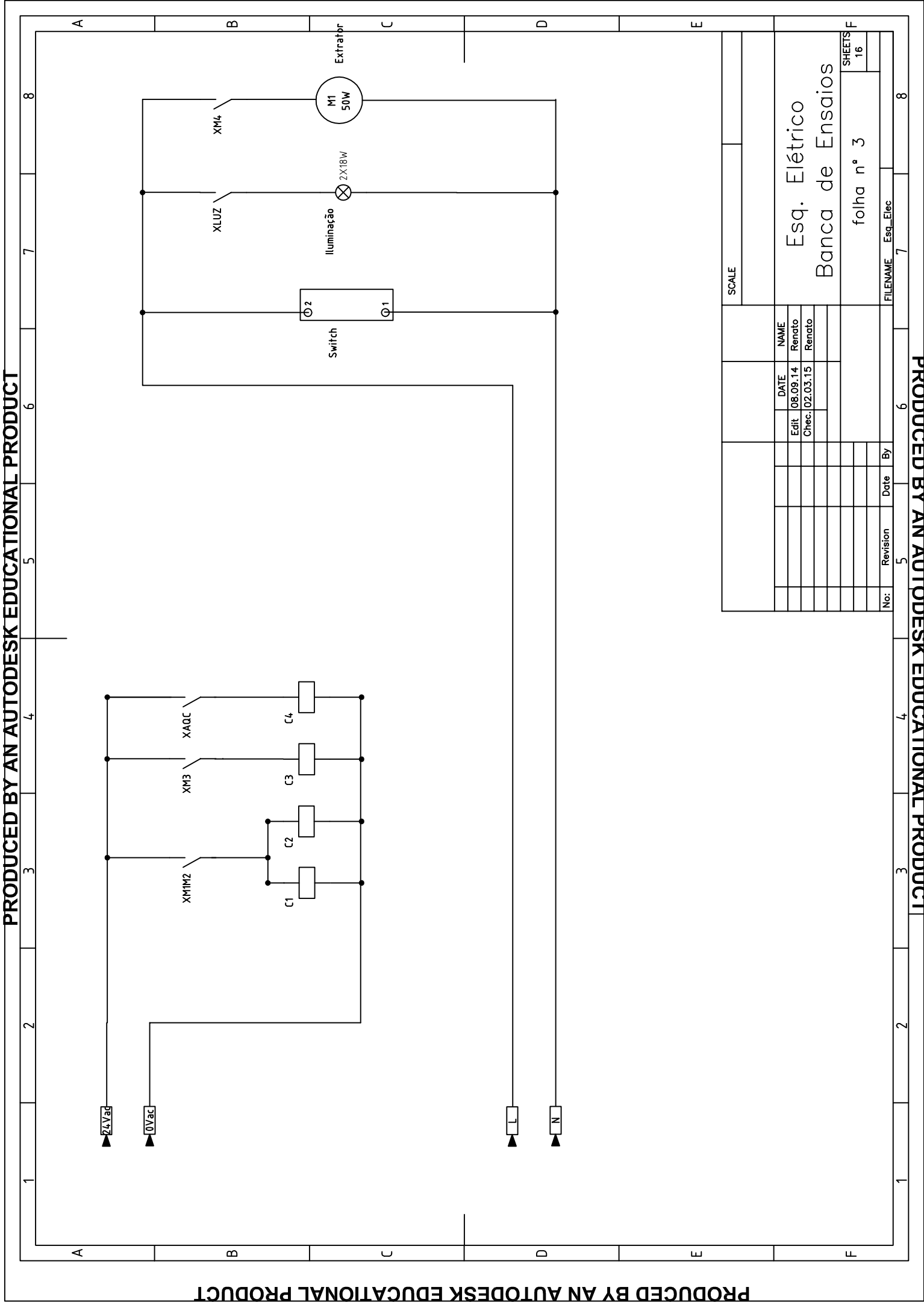
Specifications:

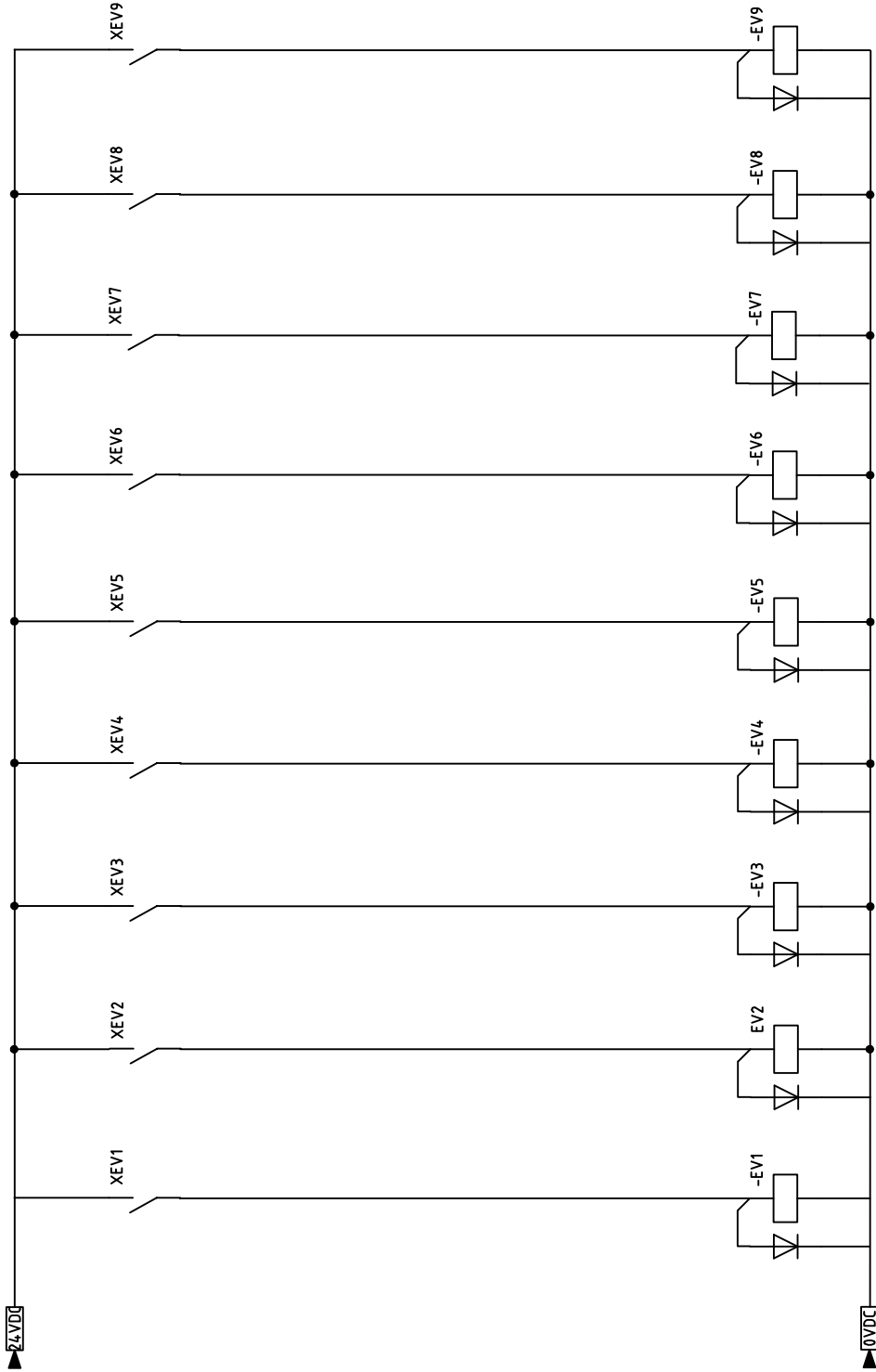
Standards	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab, IEEE 802.3af
Ports	1 10/100/1000Mbps Auto-Negotiation RJ45 LAN port (LAN IN) 1 10/100/1000Mbps Auto-Negotiation RJ45 PoE port (POWER+DATA OUT) 1 power socket (DC IN)
Network Media	10BASE-T: UTP category 3, 4, 5 cable (maximum 100m) EIA/TIA-568 100 STP (maximum 100m) 100BASE-TX: UTP category 5, 5e cable (maximum 100m) EIA/TIA-568 100 STP (maximum 100m) 1000BASE-T: UTP category 5, 5e, 6 cable (Max 100m)
Basic Function	Auto-Sensing Algorithm enables providing power with 802.3af PD Delivers power and data over the same cable up to 100 meters Auto-determine the necessary power requirements Plug-and-Play
Power	Input: External 48VDC power adapter Output: Auto-determine the necessary power requirements (max. 15.4W)
LED Indicator	Power On+No PD Connected(Blend color of red and yellow), Power On+PD Connected(green)
Safety & Emission	FCC, CE
Dimensions (W*D*H)	3.2*2.1*0.9 in.(80.8*54*24 mm)
Operating Temperature	0°C~40°C (32°F~104°F)
Storage Temperature	-40°C~70°C (-40°F~158°F)
Operating Humidity	10%~90% non-condensing
Storage Humidity	5%~90% non-condensing

ANEXO C: ESQUEMAS ELÉTRICOS

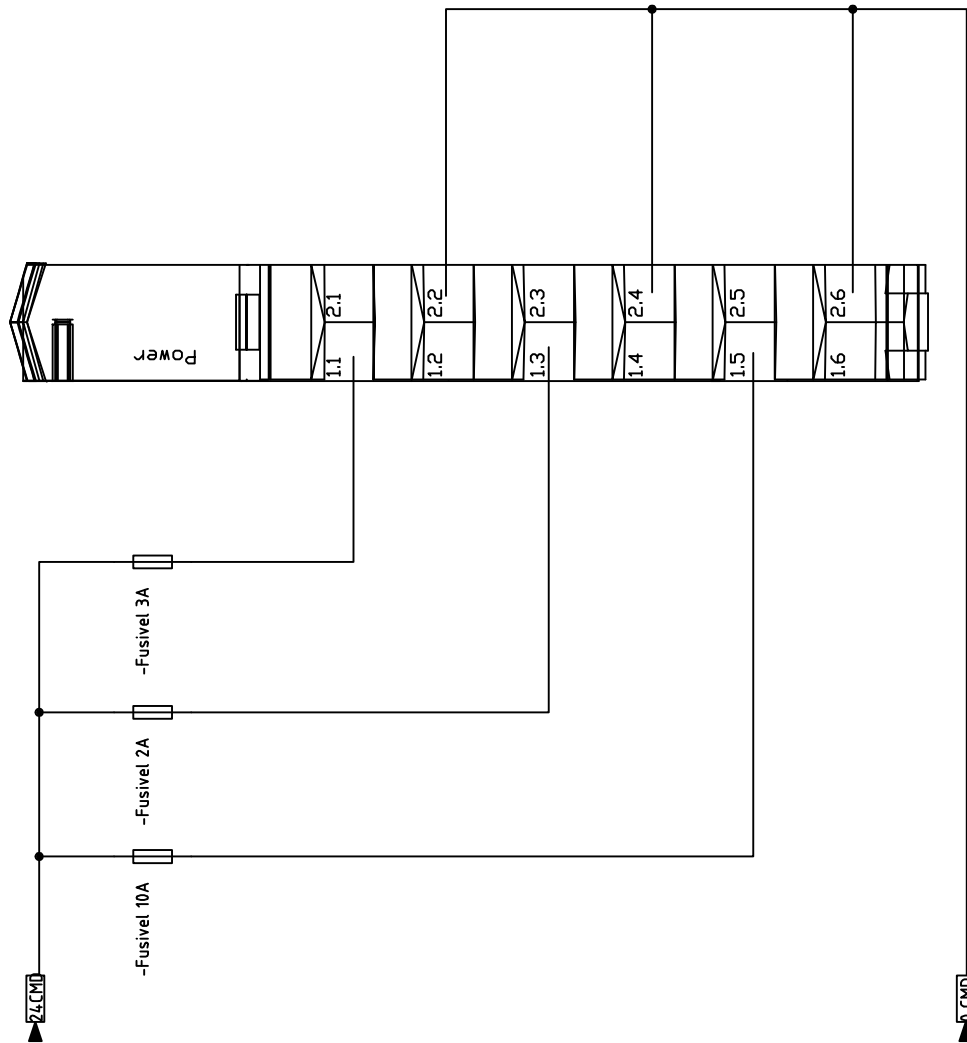


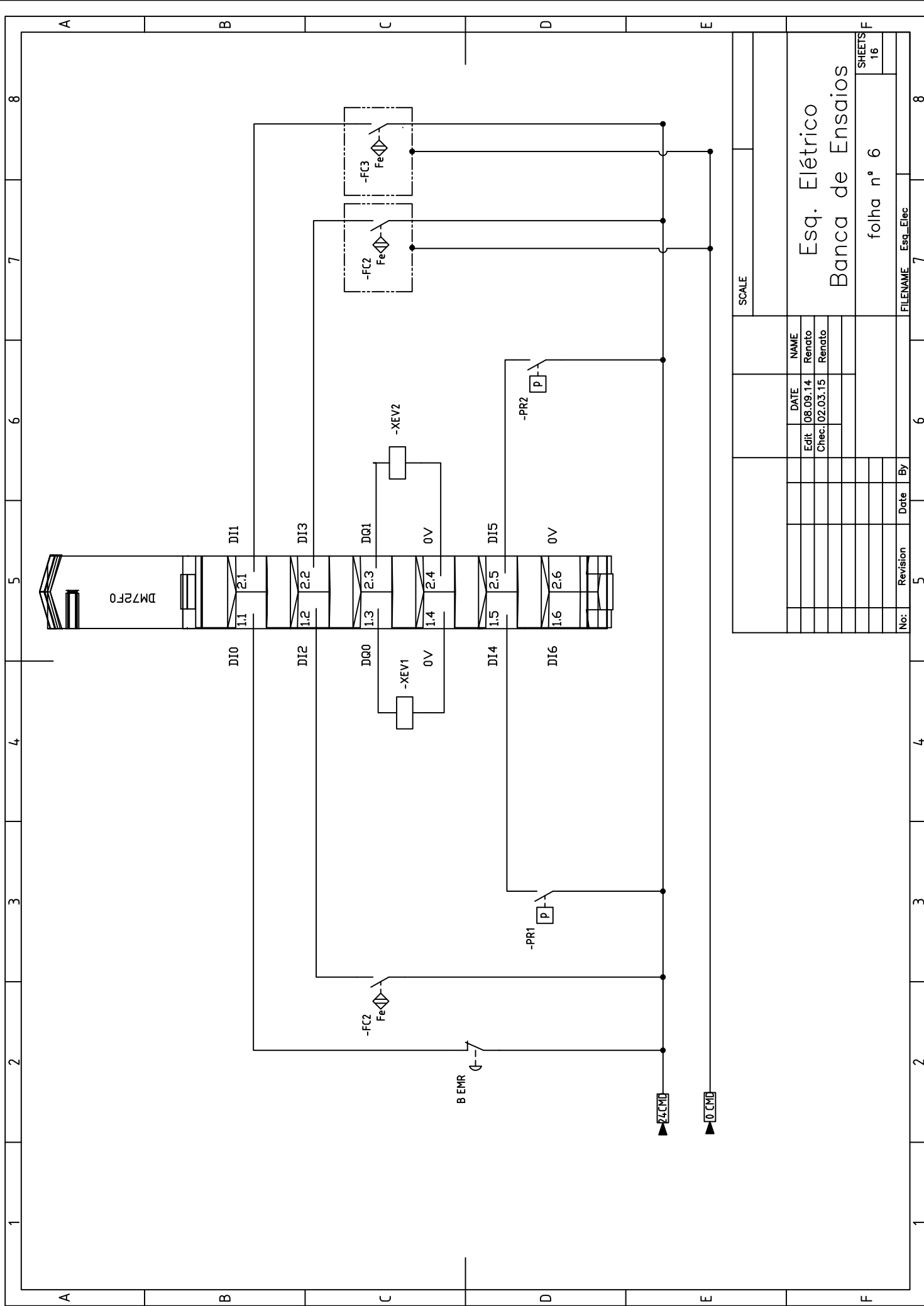


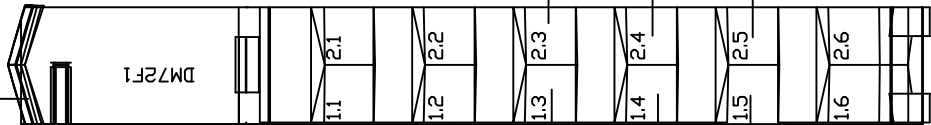


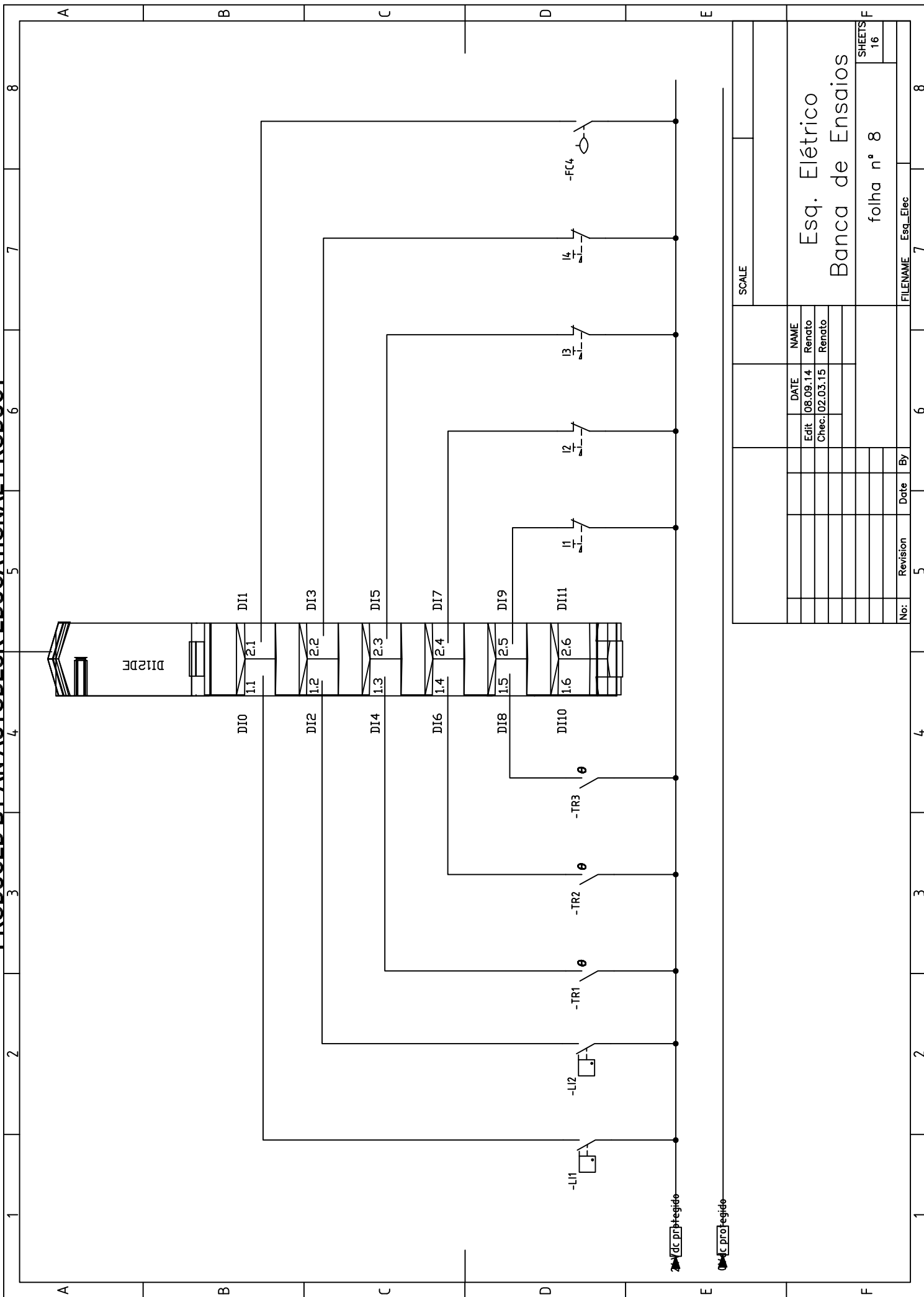


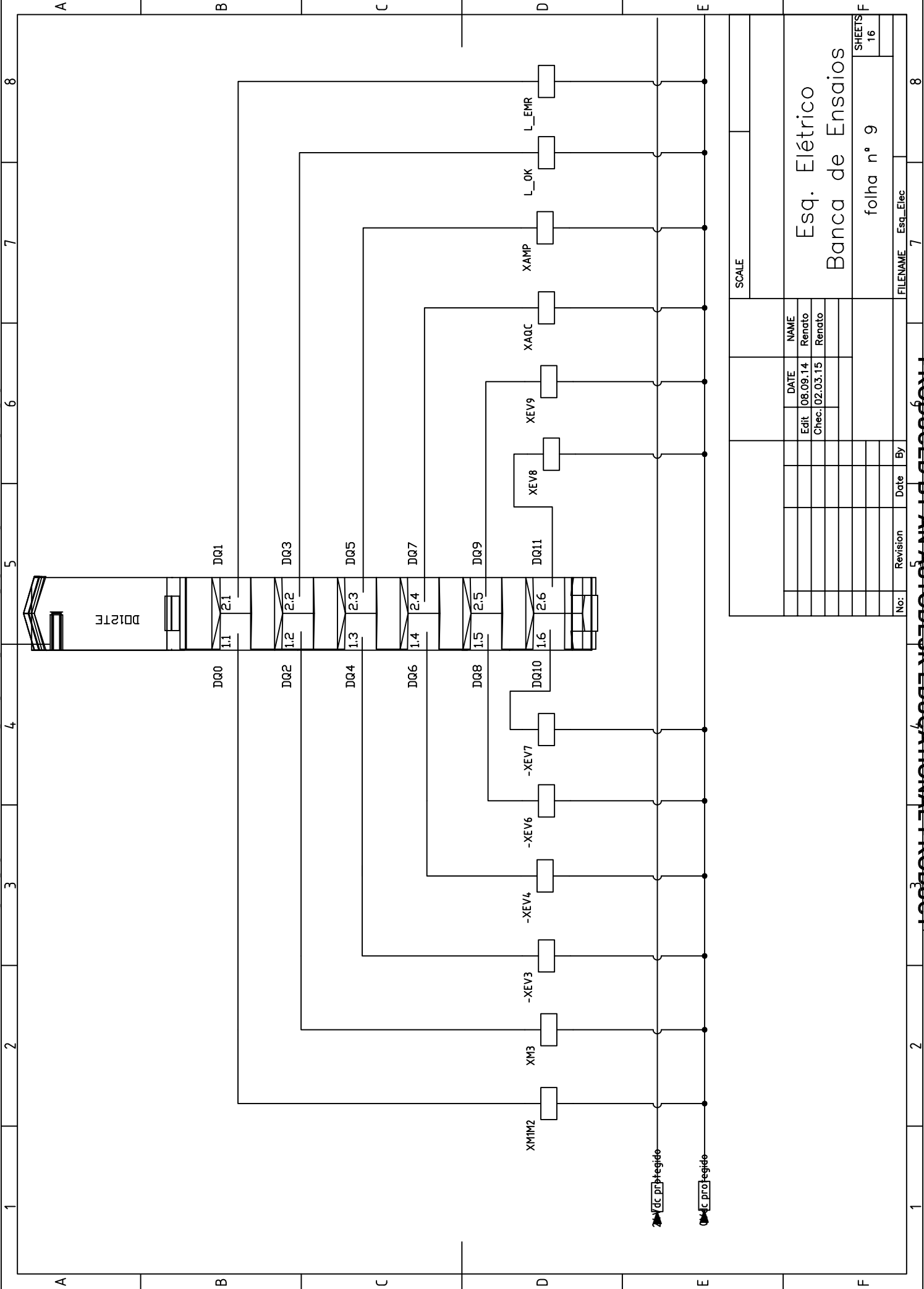
						SCALE			

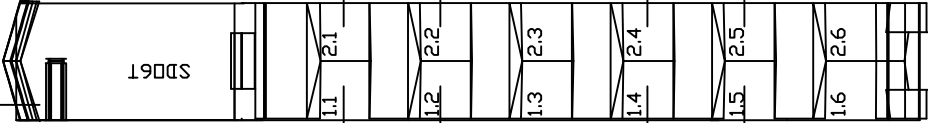
[illegible]

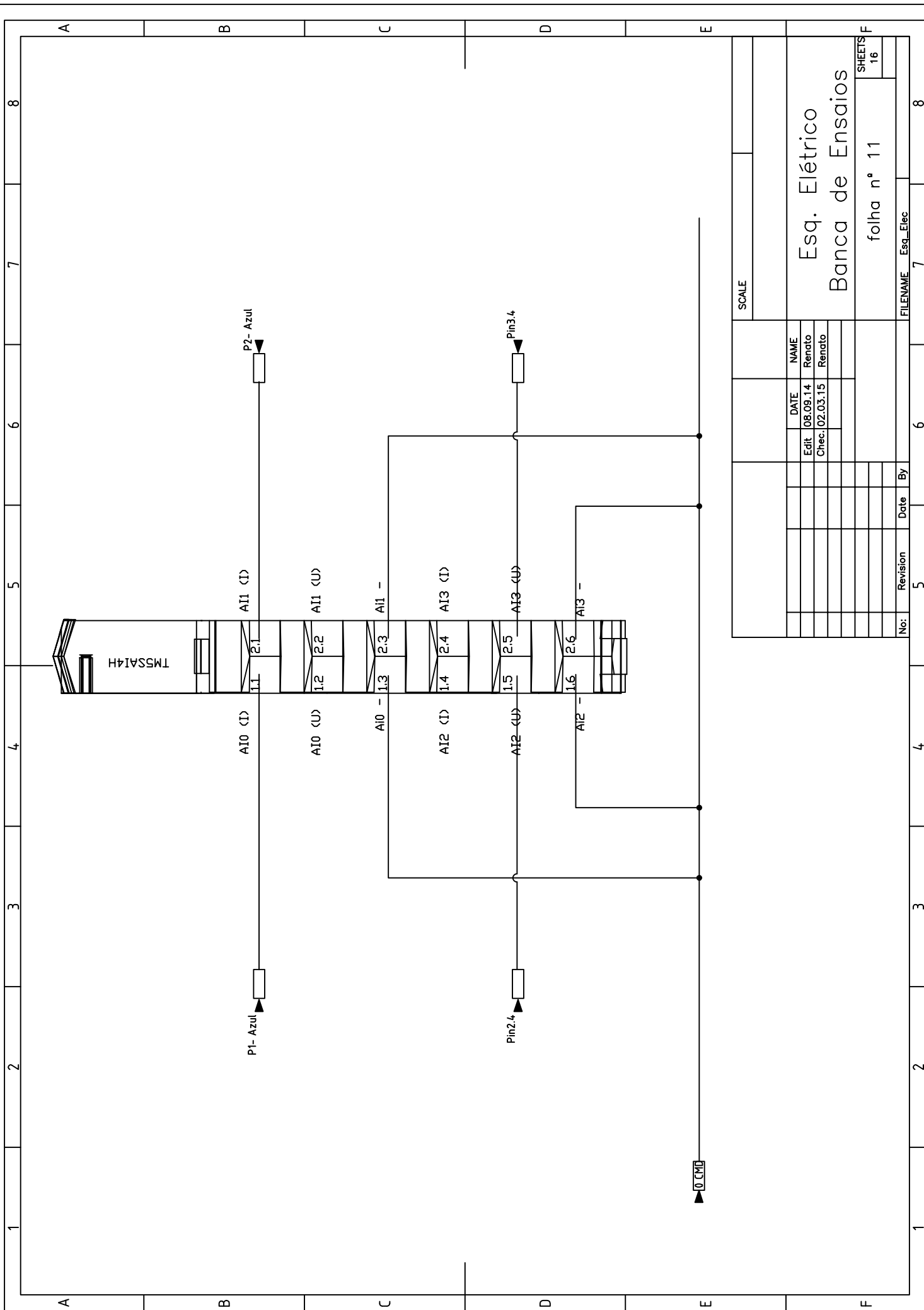


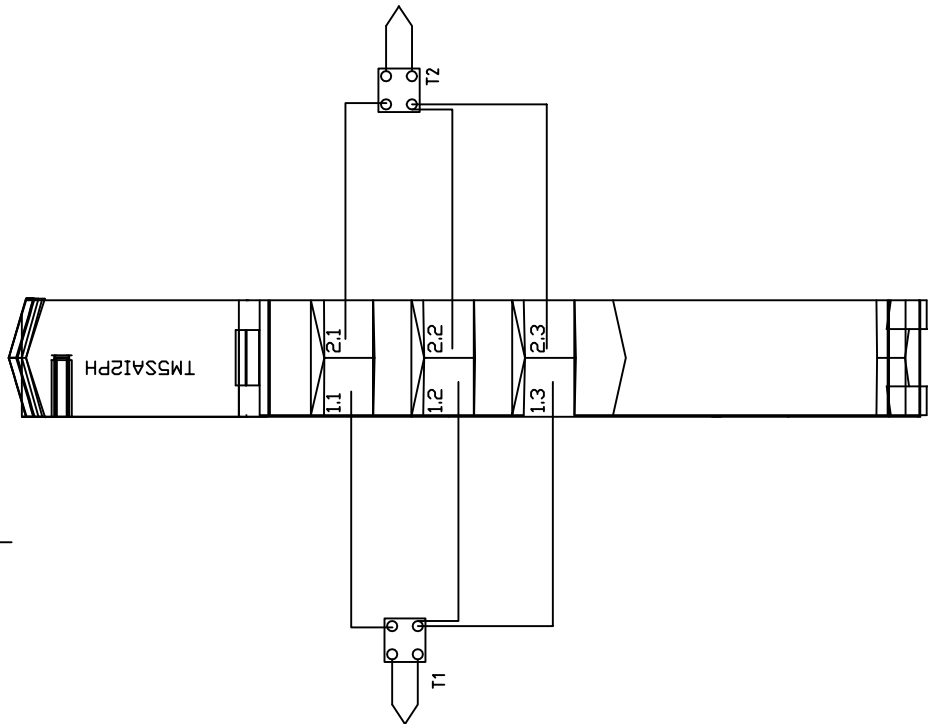
[illegible]

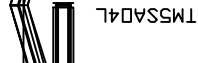








[illegible]

[illegible]

